



TESIS - RA142541

# **PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI RUANG DAN BUKAAN TERHADAP PENGHAWAAN ALAMI RUMAH BETANG DJAGA BAHEN**

**ANTONIUS ARIO B.  
3214204004**

**Dosen Pembimbing  
Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT  
FX Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD**

**Program Magister  
Bidang Keahlian Arsitektr Lingkungan  
Departemen Arsitektur  
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2018**



**TESIS - RA142541**

**PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI RUANG  
DAN BUKAAN TERHADAP PENGHAWAAN ALAMI  
RUMAH BETANG DJAGA BAHEN**

**ANTONIUS ARIO B.  
3214204004**

**Dosen Pembimbing  
Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT  
FX Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD**

**Program Magister  
Bidang Keahlian Arsitektr Lingkungan  
Departemen Arsitektur  
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2018**



**THESIS - RA142541**

**THE MODIFICATION EFFECT OF SPATIAL  
CONFIGURATION AND OPENINGS ON NATURAL  
VENTILATION PERFORMANCE OF BETANG DJAGA  
BAHEN HOUSE**

**ANTONIUS ARIO B.  
3214204004**

**Supervisor  
Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT  
FX Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD**

**Magister Program  
Environmental Architecture  
Department Architecture  
Faculty of Architecture, Design and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2018**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)**

**Di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :  
Antonius Ario B.  
NRP. 3214204004**

**Tanggal Ujian : 10 Januari 2018  
Periode Wisuda : Maret 2018**

Disetujui oleh :



1. Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT (Pembimbing I)  
NIP. 196111291986012001



2. F.X. Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD (Pembimbing II)  
NIP. 198004062008011008



3. Dr. Ima Defiana ST, MT (Penguji I)  
NIP. 197005191997032001



4. Dr. Dewi Septanti, SPd, ST, MT (Penguji II)  
NIP. 196909071997022001



**Panglima Arsitektur Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Dekan**

**Ir. Purwanita Setijanti, MSc, PhD  
NIP. 195904271985032001**



*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Antonius Ario B.  
NRP : 3214204004  
Program Studi : Magister (S2)  
Departemen : Arsitektur

Dengan ini saya menyatakan, bahwa isi sebagian maupun keseluruhan proposal tesis saya dengan judul:

**Pengaruh Perubahan Konfigurasi Ruang dan Bukaannya Terhadap  
Pengaruh Alami Rumah Betang Djaga Bahen**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Januari 2018  
yang membuat pernyataan;



Antonius Ario B.  
NRP. 3214204004

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yesus Kristus dan Bunda Maria yang telah mendampingi, memberkati, dan memberikan rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis berkesempatan untuk dapat menyelesaikan pendidikan magister.

Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti N.E, MT dan F.X. Teddy Badai Samodra ST, MT, PhD selaku pembimbing atas segala bimbingan, perhatian, dorongan dan juga ilmu pengetahuan yang diberikan kepada penulis.
2. Dr. Ima Defiana ST. MT dan Dr. Dewi Septanti SPd, ST, MT selaku penguji yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini serta saran-saran yang sangat membantu penulis.
3. Dosen-dosen lain yang turut terlibat dalam pendidikan magister penulis, Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD. dan Dr. Eng. Dhany Arifianto ST, M.Eng.
4. Keluarga penulis, ayahanda F.X. Adi Poernomo, ibunda M.T. Ismunanik Hartini, serta mas Nicolaus Erlangga P. dan mbak M.I. Intan Ayu Andari yang tidak pernah berhenti berdoa dan memberikan dukungan dalam segala hal.
5. Seluruh keluarga Surabaya atas doa, dukungan dan bantuan yang selalu diberikan.
6. Teman-teman Lab. Sains Arsitektur dan Teknologi dan Lab. Perancangan Arsitektur atas bantuan, dukungan dan semangat yang diberikan, terutama kepada Muhammad Shoful Ulum, Nydia Amanda, Arina Marta, Muhammad Alfian R.S., Arie Ranuari, Rahma Sakinah, dan teman-teman seperjuangan Aldila Septiano, Adi Garbha, Iris Sean Beatrice dan Wa Ode Alfian.
7. Tigasisi Design Associates dan keluarga besar Ichwan Hariadi atas kesempatan dan pengalaman yang diberikan.

8. Seluruh staf dan karyawan Pascasarjana ITS atas bantuannya perihal administrasi dan hal lainnya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
9. Desak Putu Damayanti, ST beserta Balai Penelitian dan Pengembangan Perumahan Wilayah II Denpasar Kementerian PUPR, atas kerjasama penelitian dan pendanaan yang memungkinkan terjadinya tahap pengamatan lapangan.
10. Beasiswa Fresh Graduate untuk biaya studi selama 4 semester.
11. Kontributor lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan dan dukungannya kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Dukungan, bantuan, semangat, dan bimbingan yang diberikan akan selalu berguna bagi penulis untuk kedepannya. Penulis juga menyadari bahwa dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Namun penulis harus tetap mendalami kembali dan tentunya membutuhkan kritik dan saran. Semoga penelitian ini dapat menjadi tambahan ilmu dan pengetahuan baru bagi pembaca.

Surabaya, 23 Januari 2018

Penulis

## **Pengaruh Perubahan Konfigurasi Ruang dan Bukaannya Terhadap Penghawaan Alami Rumah Betang Djaga Bahen**

Nama Mahasiswa : Antonius Ario B.  
NRP : 3214204004  
Pembimbing : Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT  
Co-Pembimbing : FX Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD

### **ABSTRAK**

Rumah Betang merupakan salah satu bangunan tradisional yang menggunakan prinsip penghawaan alami sebagai pendinginan fisiologis. Seiring perkembangan zaman terjadi perubahan aktifitas dan penambahan jumlah penghuni. Perubahan tersebut berkonsekuensi pada konfigurasi ruang dan bukaan. Semakin kompleksnya konfigurasi ruang dan bukaan yang berubah dalam kurun waktu hingga kini, memungkinkan perubahan kinerja penghawaan alami. Hal inilah yang terjadi pada Rumah Betang Djaga Bahen.

Pengukuran lapangan dilakukan untuk merekam kinerja penghawaan alami terhadap kenyamanan termal penghuni. Hasil dari pengukuran akan dijadikan acuan verifikasi pada simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan eksperimen Rumah Betang Djaga Bahen. Eksperimen dilakukan dengan bantuan simulasi berupa perlakuan pada konfigurasi ruang dan bukaan pada bangunan. Penilaian kinerja penghawaan alami rumah ini berdasarkan nilai *Air Change per Hour* (ACH) dari segi kesegaran udara dan kecepatan angin dari segi kenyamanan.

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa penghawaan alami Rumah Betang Djaga Bahen masih dinilai baik. Hal ini ditunjukkan dengan 17% di waktu siang hari yang membutuhkan angin untuk pendinginan fisiologis dan tidak terpenuhi, sedangkan 83% sudah memenuhi. Nilai *Air Change per Hour* (ACH) Rumah Betang Djaga Bahen masih memenuhi syarat kesehatan, kecuali beberapa ruang di waktu-waktu tertentu. Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa perubahan desain model mempengaruhi nilai kecepatan angin, tetapi tidak terlalu mempengaruhi kenyamanan fisiologis. Penggunaan bukaan tradisional Rumah Betang Djaga Bahen kurang berpengaruh pada penghawaan alami bangunan asli. Bukaan tradisional tersebut berpengaruh apabila digunakan tanpa adanya plafon di dalam ruang. Peniadaan plafon tersebut dapat menyebabkan nilai ACH lebih baik dibandingkan dengan bangunan yang menggunakan plafon.

Kata Kunci : penghawaan alami, pendinginan fisiologis, Rumah Betang

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

# **The Modification Effect of Spatial Configuration and Openings on Natural Ventilation Performance of Betang Djaga Bahen House**

Student Name : Antonius Ario B.  
Student Identity Number: 3214204004  
Supervisor : Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT  
: FX Teddy Badai Samodra, ST, MT, PhD

## **ABSTRACT**

*Batang* House is one of the traditional houses that uses natural ventilation as a physiological cooling. As the time changes, the activity and the number of occupants was change. It have consequences for spatial and opening configurations. The more complex configurations of spaces and openings that change over the time, will allow changes in the natural ventilation performance. This is what happened at *Batang Djaga Bahen House*.

Field measurements were conducted to record the natural ventilation performance of thermal comfort of the occupants. The results of the measurement will be used as verification on CFD (Computational Fluid Dynamic) simulation and experimental input of *Batang Djaga Bahen House*. The experiments were conducted with the help of simulation in the form of treatment on the configuration of space and openings in buildings. Assessment of natural ventilation performance of this house is based on the value of Air Change per Hour (ACH) in terms of air freshness and wind speed in terms of comfort.

The result of field observation shows that the natural ventilation of *Batang Djaga Bahen House* is still considered good. This can be seen by wind speed where only 17% requires wind for physiological cooling and it is insufficient, while the 83% is sufficient. Air Change per Hour (ACH) of *Batang Djaga Bahen House* still complies health requirement, except some room at certain times. The results of the experiments show that the designs changes affect the wind speed, but do not significantly affect physiological comfort. The traditional opening of *Batang Djaga Bahen House* has less influence on the natural ventilation of the original building. The traditional opening has effect when used without the ceiling. Such removal may lead to better ACH values than ceiling-based buildings.

Keyword : *Batang* house, natural ventilation, physiological cooling



- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

## DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan .....	i
Surat Pernyataan Keaslian .....	iii
Kata Pengantar .....	v
Abstrak .....	vii
Abstract .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Tabel .....	xix
Daftar Simbol dan Istilah .....	xxi
Daftar Lampiran .....	xxiii

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Penelitian .....	7

### BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Iklim Tropis Lembab .....	9
2.1.1 Kenyamanan Termal Iklim Tropis Lembab .....	10
2.2 Penghawaan Alami .....	12
2.2.1 Pergerakan Udara .....	13
2.2.2 Fungsi Penghawaan Alami .....	14
2.2.3 Prinsip Aliran Udara .....	16
2.3 Pergerakan Udara Ruang Luar (Mikroklimatik) .....	20
2.3.1 Bangunan .....	20
2.3.2 Bangunan dan Topografi .....	22
2.3.3 Bangunan dan Vegetasi .....	25
2.3.4 Bangunan dan Pagar Pembatas .....	25
2.3.5 Bangunan terhadap Bangunan lainnya .....	26
2.4 Pola Aliran Angin di Dalam Bangunan .....	27
2.4.1 Penempatan dan Orientasi .....	28
2.4.2 Tipe Bukaannya dan Perletakan .....	30
2.4.3 Ukuran dan Rasio .....	31
2.4.4 Partisi Interior .....	32
2.4.5 Kedalaman Ruang .....	33

2.5	Rumah Betang Djaga Bahen .....	34
2.5.1	Penempatan dan Orientasi .....	37
2.5.2	Data Fisik Bangunan .....	38
2.5.3	<i>Rumbak Tahansengan</i> .....	39
2.5.4	Rumah Panggung .....	40
2.6	Sintesa Kajian Pustaka .....	42

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Paradigma Penelitian .....	45
3.2	Metode Penelitian .....	45
3.3	Variabel Penelitian .....	46
3.4	Subjek Penelitian .....	47
3.4.1	Lokasi .....	47
3.4.2	Iklim .....	48
3.4.3	Bentuk .....	48
3.4.4	Pembagian Ruang .....	49
3.5	Teknik Pengumpulan Data .....	50
3.5.1	Survei Lapangan .....	51
3.6	Rancangan Eksperimen .....	54
3.6.1	Hubungan Penelitian Lapangan dan Simulasi .....	55
3.6.2	Tahapan Eksperimen dalam Simulasi .....	55
3.6.3	Tahapan pada <i>Software</i> ANSYS 16.2 .....	59
3.7	Analisa Hasil Penelitian .....	62
3.8	Tahapan Penelitian .....	65

### **BAB 4 HASIL PENGAMATAN LAPANGAN DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil Pengamatan Lapangan .....	67
4.1.1	Lokasi Bangunan .....	67
4.1.2	Deskripsi Kondisi Eksisting Bangunan .....	68
4.1.3	Pola Aktivitas Penghuni .....	74
4.2	Pembahasan Hasil Pengamatan Lapangan .....	76
4.2.1	Analisa Data Iklim Makro .....	76
4.2.2	Kondisi Iklim Mikro Lapangan .....	78
4.2.3	Perbandingan Kondisi Iklim Makro dan Mikro .....	79
4.2.4	Pergerakan Angin di dalam Rumah Betang Djaga Bahen .....	80
4.2.5	Pembahasan Pergerakan Angin di dalam Rumah Betang Djaga Bahen .....	86
4.3	Rangkuman Pengamatan Lapangan .....	89

## **BAB 5 HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN**

5.1	Verifikasi Pengukuran Lapangan dan Simulasi .....	91
5.2	Hasil dan Pembahasan Eksperimen.....	93
5.2.1	Eksperimen 1: Perubahan Ruang sesuai Zaman (Proses Adaptasi) .....	93
5.2.2	Eksperimen 2: Perbandingan Desain .....	98
5.2.3	Eksperimen 3: Potensi Bukaannya <i>Rumbak Tahasengan</i> .....	104
5.2.4	Eksperimen 4: Potensi <i>Rumbak Tahasengan</i> pada bangunan masa kini.....	105
5.3	Rangkuman Pengamatan Lapangan .....	107

## **BAB 6 KESIMPULAN & SARAN**

6.1	Kesimpulan.....	111
6.2	Saran.....	113

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>115</b>
-----------------------------	------------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>119</b>
----------------------	------------

<b>BIODATA .....</b>	<b>145</b>
----------------------	------------

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rumah Betang di Kalimantan Tengah.....	2
Gambar 1.2	Rumah Betang Djaga Bahen.....	3
Gambar 1.3	<i>Roadmap</i> penelitian .....	6
Gambar 2.1	Grafik Temperatur Efektif (Aynsley, 1977) .....	11
Gambar 2.2	Pola aliran udara (Lechner, 2007) .....	16
Gambar 2.3	Tekanan angin akibat massa bangunan (Lechner, 2007).....	17
Gambar 2.4	Efek bernouli (Lechner, 2007).....	17
Gambar 2.5	<i>Stack Effect</i> (Lechner, 2007) .....	18
Gambar 2.6	<i>Wind Catcher</i> (Aflaki dkk, 2015) .....	18
Gambar 2.7	<i>Air jet</i> di dalam ruangan (Aynsley, 1977) .....	19
Gambar 2.8	Perbedaan tekanan akibat ketinggian pada area windward (Boutet, 1987).....	22
Gambar 2.9	Pergerakan angin terhadap kontur (Boutet, 1987).....	23
Gambar 2.10	Tipe kekasaran permukaan ( <i>terrain roughness</i> ).....	23
Gambar 2.11	Pola angin terhadap bangunan, (a) terdapat zona tenang yang memungkinkan adanya eddy, (b) tatanan linear yang memblokir angin, (c) memungkinkan semua massa mendapat aliran angin .....	26
Gambar 2.12	Pergerakan angin terhadap posisi bukaan .....	28
Gambar 2.13	Pergerakan angin terhadap bukaan sejajar, (a) aliran angin sejajar, (b) aliran angin miring (Boutet,1987).....	28
Gambar 2.14	Pergerakan angin terhadap bukaan tegak lurus, (a) aliran angin miring, (b) aliran angin sejajar (Boutet,1987) .....	29
Gambar 2.15	Peran <i>Wing Walls</i> dalam Menciptakan Perbedaan Tekanan (Moore, 1993).....	29
Gambar 2.16	Gerakan Aliran Udara pada Potongan Bangunan .....	30
Gambar 2.17	Rasio <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> terhadap pergerakan angin.....	32
Gambar 2.18	Efek partisi pada kecepatan angin dalam ruang .....	33
Gambar 2.19	Jarak kedalaman maksimal untuk penghawaan alami (Liddament, 1996).....	34
Gambar 2.20	Kondisi tampak bangunan Rumah Betang Djaga Bahen .....	37
Gambar 2.21	Bukaan jendela pada Rumah Betang Djaga Bahen .....	39
Gambar 2.22	<i>Rumbak Tahansengan</i> .....	40
Gambar 2.23	Aliran Angin pada rumah panggung Malaysia (Tahir, 2010).....	41
Gambar 2.24	Diagram hasil studi terdahulu.....	43

Gambar 3.1	Peta Lokasi di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah.....	47
Gambar 3.2	Grafik perubahan iklim Kalimantan Tengah .....	48
Gambar 3.3	Tampak Rumah Betang Djaga Bahen .....	49
Gambar 3.4	Tampak Interior ruang tamu .....	49
Gambar 3.5	Denah Rumah Betang Djaga Bahen .....	50
Gambar 3.6	Titik pengukuran di dalam dan luar rumah .....	52
Gambar 3.7	Gambar potongan letak pemasangan alat .....	53
Gambar 3.8	Pembagian zona dalam ruang untuk pengukuran, (a) Ruang Tamu dan (b) Dapur.....	54
Gambar 3.9	Pembagian zona dalam ruang untuk pengukuran (c) Ruang Los....	54
Gambar 3.10	Rekomendasi Domain.....	59
Gambar 3.11	Hasil <i>postprocessing countour</i> .....	61
Gambar 3.12	Hasil <i>postprocessing streamline</i> .....	61
Gambar 3.13	Hasil <i>postprocessing vector</i> .....	62
Gambar 3.14	Rancangan grafik ACH pengukuran lapangan .....	63
Gambar 3.15	Garis potong pengambilan kecepatan angin simulasi.....	64
Gambar 3.16	Rancangan grafik kecepatan angin terhadap perubahan ruang (A-A') .....	65
Gambar 3.17	Rancangan grafik kecepatan angin terhadap perubahan ruang (B-B') .....	65
Gambar 4.1	Batas Barat Sungai Kahayan .....	68
Gambar 4.2	Denah Konfigurasi Ruang .....	71
Gambar 4.3	Detail Bukaan Pintu.....	72
Gambar 4.4	Detail Bukaan Jendela .....	73
Gambar 4.5	Detail <i>Rumbak Tahansengan</i> .....	73
Gambar 4.6	Grafik perubahan kecepatan angin .....	77
Gambar 4.7	Grafik perubahan temperatur.....	77
Gambar 4.8	Grafik <i>windrose</i> data mikro.....	78
Gambar 4.9	Grafik perbandingan data makro dan mikro.....	80
Gambar 4.10	Pembagian zona di ruang tamu.....	81
Gambar 4.11	Pembagian zona di ruang los .....	83
Gambar 4.12	Pembagian zona di dapur.....	84
Gambar 4.13	Grafik kebutuhan angin di siang hari .....	86
Gambar 4.14	Grafik kebutuhan angin di malam hari .....	87
Gambar 4.15	Grafik Air Change per Hour pukul 6.00, 9.00, 12.00, dan 15.00 ...	88
Gambar 5.1	Model 3 dimensi untuk simulasi.....	91
Gambar 5.2	Denah, garis potong, dan arah angin simulasi .....	94

Gambar 5.3	Grafik kecepatan angin pada proses adaptasi potongan A-A' .....	95
Gambar 5.4	Grafik kecepatan angin pada proses adaptasi potongan B-B' .....	96
Gambar 5.5	Grafik Air Change per Hour pada proses adaptasi bangunan .....	96
Gambar 5.6	Kebutuhan laju udara per orang di dalam ruang .....	97
Gambar 5.7	Grafik kecepatan angin pada perubahan desain potongan A-A' ....	98
Gambar 5.8	Foyer menuju kamar mandi .....	99
Gambar 5.9	Grafik kecepatan angin pada perubahan desain potongan B-B' .....	99
Gambar 5.10	Perubahan fungsi bukaan <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> pada perubahan desain bangunan.....	100
Gambar 5.11	Grafik Air Change per Hour pada perbandingan desain bangunan.....	101
Gambar 5.12	Persebaran kecepatan angin yang dibutuhkan .....	101
Gambar 5.13	Perbandingan antara WWR dan kedalaman ruang .....	102
Gambar 5.14	Grafik potensi <i>Rumbak Tahansengan</i> potongan A-A' .....	104
Gambar 5.15	Grafik potensi <i>Rumbak Tahansengan</i> potongan B-B' .....	104
Gambar 5.16	Grafik potensi <i>Rumbak Tahansengan</i> pada bangunan masa kini potongan A-A' .....	105
Gambar 5.17	Grafik potensi <i>Rumbak Tahansengan</i> pada bangunan masa kini potongan B-B' .....	106
Gambar 5.18	Grafik Air Change per Hour pada pengaplikasian <i>Rumbak Tahansengan</i> .....	107



- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tabel dari <i>Roadmap</i> penelitian .....	6
Tabel 2.1	Temperatur Efektif (TE).....	10
Tabel 2.2	Kebutuhan ACH pada rumah tinggal .....	13
Tabel 2.3	Penilaian subjektif terhadap kecepatan angin .....	13
Tabel 2.4	Persyaratan pergantian udara pada setiap ruang dalam bangunan rumah tinggal .....	14
Tabel 2.5	Lima bentukan primer dan zona tenang yang terbentuk .....	20
Tabel 2.6	Koefisien <i>terrain roughness</i> .....	24
Tabel 2.7	Rasio WWR <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> pada dinding yang sejajar .....	31
Tabel 2.8	Rasio WWR <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> pada dinding yang tegak lurus .....	32
Tabel 2.9	Perubahan Konfigurasi Denah .....	35
Tabel 3.1	Definisi Operasional Variabel .....	46
Tabel 3.2	Tabel Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data.....	51
Tabel 3.3	Rancangan model simulasi terhadap penambahan ruang.....	56
Tabel 3.4	Detail perubahan pada rancangan simulasi .....	57
Tabel 3.5	Rancangan tabel data pengukuran di dalam ruang.....	58
Tabel 4.1	Deskripsi Elemen Bangunan .....	69
Tabel 4.2	Waktu Operasional Bukaannya.....	74
Tabel 4.3	Pola Aktivitas Penghuni Rumah Betang Djaga Bahen .....	75
Tabel 4.4	Perhitungan perkiraan data mikro tahun tertentu .....	80
Tabel 4.5	Pergerakan angin di ruang tamu .....	81
Tabel 4.6	Pergerakan angin di ruang los .....	83
Tabel 4.7	Pergerakan angin di dapur .....	85
Tabel 5.1	Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran .....	92
Tabel 5.2	Perhitungan dan input kecepatan angin pada simulasi.....	94

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## DAFTAR SIMBOL DAN ISTILAH

<u>Simbol/Istilah</u>	<u>Keterangan</u>
ACH	<i>Air Change per Hour</i> /jumlah pergantian udara per jam
Ae	Luas Buka-an Efektif ( $m^2$ )
A1	Luas Buka-an <i>Outlet</i> ( $m^2$ )
A2	Luas Buka-an <i>Inlet</i> ( $m^2$ )
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
DBT	<i>Dry Bulb Temperature</i> ( $^{\circ}C$ )
LS	Lintang Selatan ( $^{\circ}$ )
BT	Bujur Timur ( $^{\circ}$ )
MRT	<i>Mean Radiant Temperature</i> ( $^{\circ}C$ )
N	Jumlah pergantian udara (ACH)
Q	<i>Air flow rate</i> ( $m^3/s$ )
RH	<i>Relative Humidity</i> , kelembaban udara rata-rata (%)
SNI	Standar Nasional Indonesia
TE	Temperatur Efektif
UCT	<i>Upper Comfort Temperature</i> , ambang atas kenyamanan ( $^{\circ}C$ ) disarankan $30^{\circ}C$ pada musim panas dan $28^{\circ}C$ untuk musim dingin
V	Volume ruang ( $m^3$ )
v	kecepatan angin ( $m/s$ )
vc	<i>Velocity comfort</i> , minimum kecepatan angin yang diperlukan untuk pendinginan fisiologis
Vg	Rata – rata kecepatan angin pada ketinggian acuan
Vz	Rata – rata kecepatan angin pada ketinggian z meter
WWR	<i>Window Wall Ratio</i>
Z	Ketinggian pada objek
Zg	Ketinggian acuan iklim makro (biasanya 10 meter)
$\alpha$	<i>Mean Speed Exponent</i> , eksponen berdasarkan kekasaran permukaan.
B	<i>Gust Speed Exponent</i>
$\Delta P$	Konstanta perhitungan ACH, 8 untuk bangunan dengan ketinggian 16 m pada city centre

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Iklim pertahun Kalimantan Tengah .....	119
Lampiran B	Foto-Foto Hasil Pengamatan (Outdoor) .....	120
Lampiran C	Foto-Foto Hasil Pengamatan (Indoor) .....	122
Lampiran D	Data Pengukuran Arah dan Kecepatan Angin Outdoor .....	124
Lampiran E	Data Pengukuran Suhu dan Kelembaban Outdoor .....	125
Lampiran F	Perhitungan vc Pengukuran Lapangan .....	126
Lampiran G	Hasil Perhitungan ACH .....	128
Lampiran H	<i>Setting Mesh</i> .....	129
Lampiran I	<i>Setting Solver</i> .....	130
Lampiran J	Verifikasi Simulasi Arah Utara dan Timur .....	133
Lampiran K	Model dan Hasil Simulasi .....	134
Lampiran L	Perhitungan ACH Hasil Simulasi .....	141

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Rumah adat di Indonesia adalah bentukan yang berasal dari penyesuaian iklim tropis lembab dan letak geografi setempat. Bentuk yang ada merupakan bentukan yang mampu bertahan terhadap iklim setempat melalui proses *trial and error* dalam pembangunannya. Tiang-tiang yang berdiri di atas tanah menyangga ruang di atasnya guna menghindari lumpur dan banjir (Tjahjono, 2002), atap-atap yang dipanjangkan untuk menghindari panas langsung dan air hujan, merupakan ciri khas dari rumah adat di Indonesia.

Sama seperti rumah adat lainnya, rumah adat di daerah Kalimantan Tengah juga mengikuti pedoman yang sama seperti lantai yang ditinggikan dan atapnya yang dibesarkan. Beberapa di antaranya yang merupakan rumah adat asli dari masyarakat suku Dayak adalah Rumah Betang, Huma Gantung (rumah tinggi), dan Rumah Panjang (Perkasa, 2010). Ketiga rumah tersebut memiliki kesamaan yaitu ketiga-tiganya meninggikan ketinggian lantai tersebut, atau biasa disebut sebagai rumah gantung. Selain karena kebudayaan, masalah keamanan dan lainnya, ternyata pembangunan rumah adat ini sebagai rumah panggung juga memikirkan kenyamanan penghuni di dalamnya terhadap iklim tropis setempat. Rumah panggung memungkinkan adanya pergerakan angin dibawah bangunan, hal ini dapat mendinginkan lantai bangunan dan mengurangi kelembaban (Kristianto, 2014).

Rumah Betang (Gambar 1.1), salah satu dari rumah adat di Kalimantan Tengah, menggunakan penghawaan alami sebagai penghawaan fisiologis pada penghuni rumah tersebut. Hal ini dapat terlihat dari bukaan pada fasad bangunan yang cukup besar. Pada Rumah Betang ini juga terdapat keunikan tersendiri, yaitu dua buah bukaan seperti hidung pada gewel sisi samping bangunan, atau mereka sebut *Rumbak Tahansengan* (Asteria, 2008). *Rumbak Tahansengan* ini merupakan bukaan yang terus terbuka sepanjang hari seperti roster. Susanti (2015) menyatakan bahwa bukaan *Rumbak Tahansengan* dapat meningkatkan rasio pemerataan



pencahayaan untuk aktivitas hingga 9.6%. Bukaan ini memungkinkan terjadinya pertukaran udara dalam ruangan dapat terjadi walaupun bukaan lain seperti jendela telah tertutup.



Gambar 1.1 Rumah Betang di Kalimantan Tengah

Seiring dengan perkembangan zaman, rumah-rumah adat mulai ditinggalkan, beberapa di antaranya ada pula yang direnovasi sesuai dengan kebutuhan penghuni ataupun karena perubahan fungsinya (sebagai cagar budaya). Salah satu rumah adat yang bertahan sampai sekarang dan melalui beberapa renovasi adalah Rumah Betang Djaga Bahen (Gambar 1.2). Rumah Betang yang pertama kali didirikan oleh Djaga Bahen ini telah mengalami beberapa kali perubahan dari tahun 1933 sampai tahun 1995. Perubahan tersebut antara lain untuk mengakomodasi jumlah penghuni yang semakin bertambah dan juga penambahan ruang lain yang tadinya terpisah dari rumah utama. Adanya lantai vinyl yang menutup bilah lantai kayu dan plafon yang menutup ruang atap tentunya berpengaruh pada pergerakan angin di dalam ruangan. Perubahan pada konfigurasi ruang menyebabkan tidak semua ruang mempunyai sisi *windward* dan *leeward* yang langsung berhadapan dengan ruang luar karena terbentuknya partisi, sehingga

pergerakan angin menjadi terbatas di beberapa ruang. Sebagai rumah adat yang menggunakan penghawaan alami sebagai pendinginan fisiologis, hal ini tentunya harus dipelajari lebih lanjut.



Gambar 1.2 Rumah Betang Djaga Bahen (Juli, 2014)

Penelitian terkait penghawaan alami yang sebelumnya dilakukan, seperti Defiana (2003) terkait penghawaan alami pada rumah multi fungsi, penelitian ini mengkaji penghawaan alami terkait fungsi penghawaan sebagai pendinginan fisiologis. Beberapa penelitian juga meneliti penghawaan alami di rumah tradisional seperti penelitian Toisi (2012) di rumah tradisional Minahasa, Dede (2016) pada Rumah Niang di Manggarai, Fitriaty (2011) pada Rumah Tambi di Sulawesi Tengah dan Suwantara (2012) terhadap rumah Uma Lengge di Nusa Tenggara Barat. Keduanya menyimpulkan bahwa penghuni pada rumah tradisional sebenarnya masih dapat dikatakan nyaman. Kristianto (2014) pada penelitiannya yang menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada rumah tersebut menyebutkan bahwa ketinggian rumah panggung berpengaruh pada kecepatan angin, bukaan pada atap mempunyai efek pada penghawaan yang lebih besar dibandingkan bukaan pada dinding. Dalam peraturan yang dikeluarkan SNI 03-6572-2001, dinyatakan bahwa jumlah bukaan penghawaan tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai dan menghadap ke area terbuka. Allard (1998) mengemukakan

mengenai penghawaan alami dengan sistem penghawaan silang, di mana kecepatan angin sangat tergantung dengan ukuran bukaan masuk (*inlet*) dan bukaan keluar (*outlet*). *Inlet* berukuran lebih besar dari *outlet* menghasilkan angin dengan kecepatan rata-rata terendah. *Inlet* lebih kecil dari *outlet* menghasilkan kecepatan rata-rata angin yang lebih baik. *Inlet* dan *outlet* berukuran sama besar menghasilkan kecepatan rata-rata angin tertinggi. Penelitian yang dilakukan Mediastika (2002) dan Defiana (2003) merekomendasikan bukaan sebesar 40 - 50% dari total luas bangunan. Di sisi lain, bukaan yang terlalu besar juga dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada penghuni. Kecepatan angin di atas 1,5 m/s dapat dirasa sangat mengganggu (Szokolay, 2008), karena dapat mengganggu aktivitas membaca seperti menerbangkan kertas dan benda ringan lainnya.

Rumah adat yang saat ini telah menjadi bangunan konservasi ini kemungkinan menjadi satu-satunya Rumah Betang yang telah mengalami perubahan pola ruang yang cukup signifikan dibanding Rumah Betang lainnya, dan masih dihuni oleh keluarga tersebut secara turun-temurun. Keunikan perubahannya yang menjadikannya seolah bukan lagi seperti Rumah Betang lainnya, menjadi salah satu pertimbangan Perkasa (2010) untuk meneliti mengenai pola perubahan rumah tersebut, juga Susanti (2015) yang melakukan penelitian terkait dengan pencahayaan alami Rumah Betang Djaga Bahen. Penelitian ini dimaksudkan untuk melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya terkait dengan Rumah Betang Djaga Bahen, karena belum ada yang meneliti mengenai penghawaan alami dan kenyamanan termalnya. Kearifan lokal yang telah ada dari masa lalu diuji dengan lingkungan yang ada saat ini, diharapkan perubahan pola tata ruang dan fungsi yang terjadi tidak mempengaruhi nilai standar kenyamanan dalam beraktivitas dalam Rumah Betang Djaga Bahen ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perubahan jumlah penghuni berpengaruh pada perubahan pola tata ruang, hal tersebut diduga mempengaruhi kenyamanan termal di dalam ruang. Perubahan partisi dan sekat baik secara horizontal maupun vertikal menjadi obstruksi yang menyebabkan pergerakan angin di dalam bangunan berubah konfigurasi bangunan. Keberadaan beberapa bukaan yang ada dahulu seperti *Rumbak Tahansengan* telah

digantikan dengan jendela-jendela besar untuk mengakomodasi aliran angin tetap dapat masuk bangunan. Sifat bangunan tersebut yang merupakan bangunan tunggal juga menjadi ciri khas tersendiri, karena obstruksi yang terjadi hanya diakibatkan oleh pepohonan. Pepohonan di sekitar bangunan juga dapat menghalangi dan menurunkan kecepatan angin memasuki bangunan. Dari beberapa pernyataan permasalahan di atas, pertanyaan penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen saat ini?
2. Bagaimana pengaruh perubahan konfigurasi ruang dan bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan* terhadap kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen?

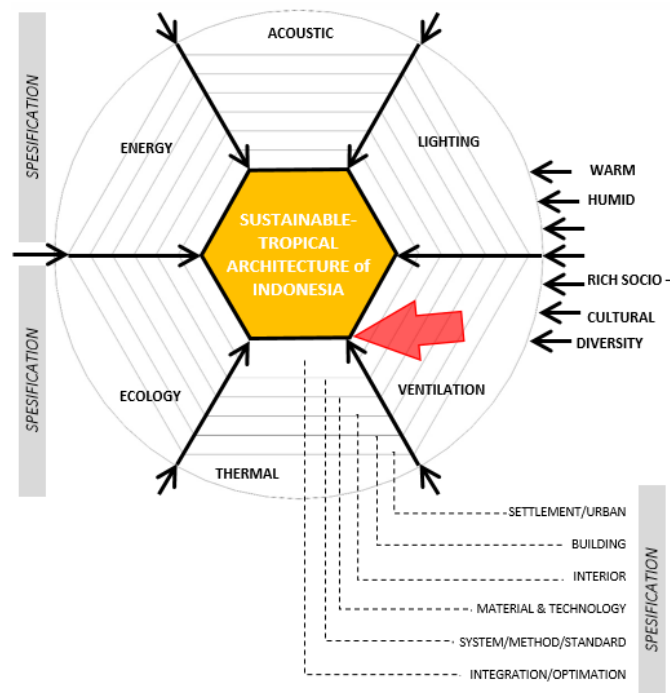
### **1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian**

Penelitian ini bertujuan menghasilkan Gambaran efektivitas bukaan Rumah Betang Djaga Bahen yang cenderung besar terhadap pendinginan alami dan kenyamanan penghuni, dengan sasarannya yaitu;

1. Mengevaluasi kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen.
2. Menjelaskan peran perubahan konfigurasi bentuk ruang bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan* terhadap penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoretis maupun secara praktis. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat melengkapi teori dalam bidang penghawaan sesuai dengan *roadmap* penelitian “*Sustainable Tropical Architecture of Indonesia*”. Penelitian ini difokuskan kepada penghawaan alami (sistem pasif bangunan) dengan lingkup bangunan ketinggian rendah, khususnya rumah adat Indonesia. Fokus penelitian dapat dilihat dari diagram pada Gambar 1.3 dan Tabel 1.1.



Gambar 1.3 Roadmap penelitian

Tabel 1.1 Tabel dari Roadmap Penelitian

No.	Spesification		Scope							
			A	B			C	D	E	F
			Settleme nt/urban	building			interior	Material & technology	System/ method/ standard	Integration /opimiation
1	Thermal	P								
		A								
2	Ventilation	P								
		A								
3	Lighting	P								
		A								
4	Acoustic	P								
		A								
5	Energy	P								
		A								
6	Ecology	P								
		A								

P = passive system, A = active system

l = low rise building, m = middle-rise building, h = high rise building

Manfaat praktis yang diharapkan adalah agar masyarakat setempat dan perencana dapat menjadikan penelitian ini sebagai rujukan pertimbangan dalam mendesain kembali Rumah Betang Djaga Bahen. Khususnya terhadap penggunaan rumah panggung dan bukaan gewel, *Rumbak Tahansengan*, pada rumah masa kini. Rekomendasi ini dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk desain perancangan rumah adat ataupun rumah tinggal di daerah tropis lembab.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Penelitian ini diberi batasan agar subjek yang dikaji tidak meluas dan sifatnya spesifik. Batasan-batasan tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada pembahasan penghawaan alami pada Rumah Betang yang merupakan peninggalan dari Djaga Bahen.
2. Perubahan konfigurasi ruang didasarkan pada perubahan rumah di mana terjadi 5 kali renovasi dari awal tahun 1933 sampai saat ini. Sedangkan evaluasi bukaan difokuskan untuk melihat kinerja bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan*.
3. Kondisi termal dalam penelitian ini digunakan sebagai justifikasi kondisi penyejukan fisiologis, bukan sebagai variabel utama.

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini membahas beberapa teori yang dijadikan bahan pertimbangan dalam penelitian ini. Pembahasan teori ini dibagi menjadi dua aspek yaitu aspek lingkungan dan aspek desain. Aspek lingkungan mengkaji iklim secara makro dan mikro, sedangkan aspek desain mengkaji penghawaan alami terkait aliran angin di luar dan di dalam bangunan serta penghawaan alami terkait subjek penelitian.

#### **2.1 Iklim Tropis Lembab**

Pada dasarnya iklim dibagi menjadi empat, yaitu iklim dingin, iklim sedang, iklim tropis kering dan iklim tropis lembab (Olgyay, 1963). Iklim tropis kering dan tropis lembab dibedakan karena curah hujannya, iklim tropis kering memiliki curah hujan yang kurang dari 60mm/hari, sedangkan tropis lembab memiliki curah hujan lebih dari 60mm/hari. Indonesia termasuk kedalam iklim tropis lembab.

Iklim tropis lembab dapat dijumpai pada daerah sekitar ekuator  $\pm 15^{\circ}$ , memiliki variasi musim yang sedikit di sepanjang tahun, dengan ciri-ciri temperatur  $24^{\circ}$ - $32^{\circ}\text{C}$ . Dalam satu hari perbedaan temperatur terendah dan tertinggi pada iklim ini hanya berkisar antara  $5 - 10^{\circ}\text{C}$ . Kelembaban relatif pada iklim ini berkisar antara 60-90% sedangkan curah hujan yang cukup tinggi antara 60-100mm/hari. Radiasi matahari yang cukup tinggi juga mempengaruhi temperatur dan kelembaban pada iklim tropis lembab. Besaran radiasi matahari pada iklim tropis dapat mencapai lebih dari  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Berdasarkan penjelasan tersebut, diperlukan adaptasi desain dalam menanggapi kondisi iklim setempat untuk mengatasi permasalahan pada lingkungan iklim tropis lembab. Adaptasi dapat dilakukan dengan mengkondisikan lingkungan fisik berdasarkan penyesuaian terhadap parameter iklim.



### 2.1.1 Kenyamanan Termal Iklim Tropis Lembab

Beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan seseorang dapat dikelompokkan menjadi tiga faktor, yaitu faktor lingkungan, faktor personal, dan faktor lain yang berkontribusi (Szokolay, 2008). Faktor lingkungan yang dimaksud adalah pengaruh dari iklim setempat seperti temperatur, kecepatan angin, kelembaban, dan radiasi. Faktor personal antara lain, yaitu aktivitas dan metabolisme, pakaian yang digunakan, kesehatan dan aklimatisasi. Sedangkan faktor lain yang berpengaruh adalah pola makan dan minum, fisik, usia dan jenis kelamin.

Temperatur udara menjadi faktor yang dominan, hal ini karena temperatur udara dapat secara langsung menghilangkan panas secara konveksi. Pergerakan udara juga dapat meningkatkan konveksi panas, serta meningkatkan penguapan dari kulit, sehingga menghasilkan efek pendinginan fisiologis.

Tabel 2.1 Temperatur Efektif (TE)

DBT (°C)	Met	Clo	RH (%)	Angin max (m/s)	Angin min (m/s)
21	1	0.9	40	0.1	-
21	1	0.9	60	0.1	-
21	1	0.9	80	0.1	-
24	1	0.9	40	0.1	0.1
24	1	0.9	60	0.1	0.1
24	1	0.9	80	0.1	0.1
27	1	0.5	30	0.95	0.6
27	1	0.5	50	1.35	0.6
27	1	0.5	75	2.05	0.6

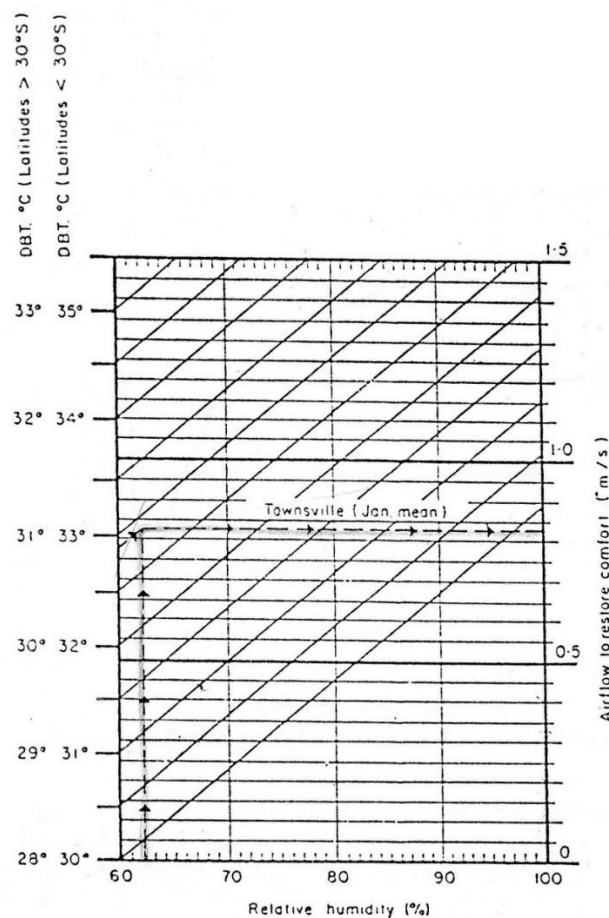
Sumber: ASHRAE Thermal Comfort Tool (*Software*)

Kenyamanan termal dapat diukur melalui satuan yang disebut temperatur efektif (TE). Temperatur efektif (Tabel 2.1) didefinisikan sebagai indeks lingkungan yang menggabungkan temperatur dan kelembaban udara menjadi satu indeks. Hal ini berarti bahwa pada temperatur tertentu respon termal seseorang pada

kondisi tersebut adalah sama, meskipun mempunyai temperatur dan kelembaban yang berbeda, tetapi keduanya harus mempunyai kecepatan udara yang sama (SNI 03-6572-2001). Gambar 2.1 juga menunjukkan hubungan antara temperatur dan kecepatan udara, semakin tinggi temperatur udara maka dibutuhkan kecepatan udara yang lebih cepat. Aynsley dan Spruill (1990) menyatakan bahwa kecepatan angin yang dibutuhkan di daerah tropis lembab untuk menciptakan kenyamanan termal, ditunjukkan oleh persamaan 2.1.

$$V_c = 0,15 (DBT - UCT + (0,8 * ((RH - 60) / 10)) + (0,55 * (MRT - 38) / 2,8)) \quad (2.1)$$

Aynsley(1977) juga menunjukkan suatu grafik yang menyatakan hubungan antara kecepatan angin, kelembaban relatif dan temperatur udara ruang yang diperlukan untuk mencapai kenyamanan termal. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Temperatur Efektif (Aynsley, 1977)

## 2.2 Penghawaan Alami

Penghawaan alami adalah pergantian udara tanpa melibatkan peralatan mekanis, penghawaan alami ini menawarkan penghawaan yang sehat dan nyaman tanpa memerlukan tambahan energi (Satwiko, 2009). Penghawaan alami juga memerlukan beberapa syarat agar tidak merugikan, seperti udara luar yang bersih, temperatur luar yang tidak terlalu tinggi, tidak banyak bangunan sekitar yang menghalangi aliran udara horizontal dan lingkungan yang tidak bising. Penghawaan alami sebisa mungkin harus dapat dilakukan di semua ruang di dalam bangunan, hal ini dapat dibandingkan dengan standar ACH (*Air Change per Hour*) atau pergantian udara per jam (Tabel 2.2). Proses ini harus berlangsung terus menerus dengan pergantian udara yang bersumber dari udara bersih. Menurut Szokolay (2004) perhitungan untuk ACH di dalam ruang dapat digunakan persamaan 2.2 sampai dengan 2.5.

$$N = \frac{Q}{0.33 \times V} \quad (2.2)$$

dimana

$$Q = 0.827 \left[ \frac{A1 \times A2}{(A1^2 + A2^2)^{.1/2}} \right] (\Delta P) \quad (2.3)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui pengaruh variabel-variabelnya terhadap kecepatan angin di dalam ruang dengan persamaan berikut :

$$v = \frac{N \times V}{Ae \times 3600} \quad (2.4)$$

dimana

$$Ae = \frac{A1 \times A2}{\sqrt{A1^2 + A2^2}} \quad (2.5)$$

Penghawaan alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka dengan syarat jumlah bukaan penghawaan tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai (SNI 03-6572-2001) dan arah yang menghadap ke area terbuka atau sejenisnya. Rasio yang baik menurut

Defiana (2003) adalah 40% dari total luas bangunan dengan kecepatan angin 0.6 m/s.

Tabel 2.2 Kebutuhan ACH pada rumah tinggal

Ruangan pada rumah tinggal	ACH
Basement	3-4
Kamar Tidur	5-6
Kamar Mandi	6-7
Ruang Keluarga	6-8
Dapur	7-8
Tempat Cuci	8-9

Sumber: SNI 03-6572-2001

### 2.2.1 Pergerakan Udara

Pergerakan udara secara harafiah disebut sebagai angin. Udara dapat bergerak akibat perbedaan tekanan atau perbedaan temperatur. Pergerakan udara *bouyancy* adalah pergerakan udara ke atas akibat adanya perbedaan temperatur. Angin memiliki lapisan batas (*boundary layer*) yaitu lapisan udara antara permukaan bumi dan ketinggian tertentu di mana kecepatan angin tidak lagi dipengaruhi oleh kondisi permukaan bumi. Angin dengan kecepatan terlalu rendah tidak dapat digunakan sebagai pendinginan fisiologis, akan tetapi jika terlalu kencang, angin juga dapat mengganggu. Hal tersebut dapat dilihat pada Table 2.3.

Tabel 2.3 Penilaian subjektif terhadap kecepatan angin

Velocity (m/s)	Subjective reactions
< 0.1	Stuffy
0.1 – 0.2	Unnoticed
0.2 – 0.5	Pleasant
0.5 – 1.0	Awareness
0.1 – 1.5	Draughty
> 1.5	Annoying

Sumber: Szokolay (2008)

### 2.2.2 Fungsi Penghawaan Alami

Menurut Allard (1998), penghawaan alami memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan udara bersih dan kenyamanan termal bagi penghuni.

#### a. Mengontrol Kualitas Udara Dalam Ruang

Penghawaan alami masuk ke dalam ruangan dengan tujuan menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya dan gas-gas pembakaran ( $\text{CO}_2$ ) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran, juga untuk menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya (SNI 03-6572-2001)

Jumlah pergantian udara dalam ruang dinyatakan dalam satuan ACH (*air change per hour*). ACH adalah jumlah pergantian udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jamnya (Satwiko, 2009).

Pada rumah tinggal SNI 03-6572-2001 memberikan standar pergantian udara pada rumah tinggal dengan membedakan antara terkontaminasi dengan asap rokok dan tidak terkontaminasi pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan pergantian udara pada setiap ruang dalam bangunan rumah tinggal

Jenis ruang	Satuan	Jumlah pergantian udara segar	
		<u>Merokok</u>	<u>Tidak merokok</u>
Ruang Duduk	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/kamar	-	0.30
Ruang Tidur	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/kamar	0.75	0.30
Dapur	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/kamar	0.75	3.00
Toilet	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/kamar	0.30	1.50
Garasi rumah	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/mobil	-	3.00
Garasi bersama	( $\text{m}^3/\text{min}$ )/ $\text{m}^3$	1.50	0.45

Sumber: SNI 03-6572-2001

b. Kenyamanan termal

Sensasi termal menjadi kunci utama hampir di semua persepsi kenyamanan, untuk mencapai sensasi termal tersebut beberapa parameter dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori:

- Parameter fisik, di dalamnya termasuk temperatur udara, kondisi termal lingkungan (MRT/*Mean Radiant Temperature*), kelembaban relatif, kecepatan angin (rata-rata dan turbulensi).
- Parameter fisiologis, termasuk usia, jenis kelamin, dan karakter dari penghuni
- Parameter eksternal, termasuk aktivitas manusia, pakaian dan kondisi sosial.

Pergerakan udara menentukan panas secara konveksi berpindah ke udara yang ada di sekitar tubuh. Pada iklim tropis lembab dengan kondisi temperatur udara yang tinggi dan kelembaban yang tinggi, mengupayakan kecepatan angin dilakukan untuk membantu mempercepat penguapan pada permukaan kulit, agar dirasakan dingin di sekitar tubuh (*cooling sensation*). Efek lain dari penghawaan alami terhadap kenyamanan adalah untuk mereduksi panas internal (*internal gain*) untuk mencegah temperatur meningkat di dalam bangunan.

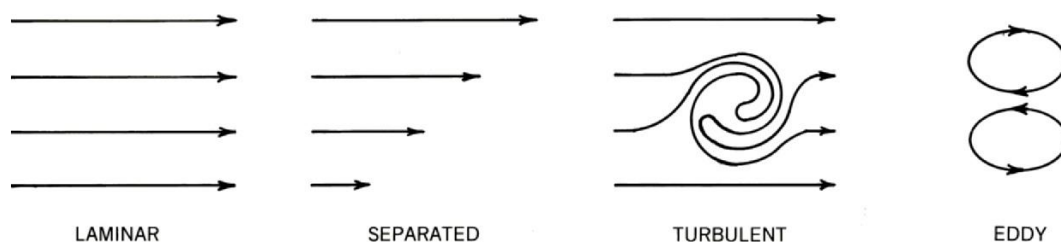
c. Pendinginan struktur

Penghawaan alami juga berfungsi sebagai pendinginan struktur ketika bangunan tidak berpenghuni. Pendinginan ini juga dapat disebut *night-time ventilation*. Struktur bangunan didinginkan pada malam hari dan melepaskan *heat sink* yang tersedia selama masa hunian. Bangunan menyerap panas yang diakibatkan karena hunian atau peralatan dan mempertahankan kondisi dalam ruangan yang dapat diterima. Sisi bangunan yang lebih banyak terekspos terhadap pergerakan udara memberikan potensi pendinginan struktur bangunan yang lebih besar.

### 2.2.3 Prinsip Aliran Udara

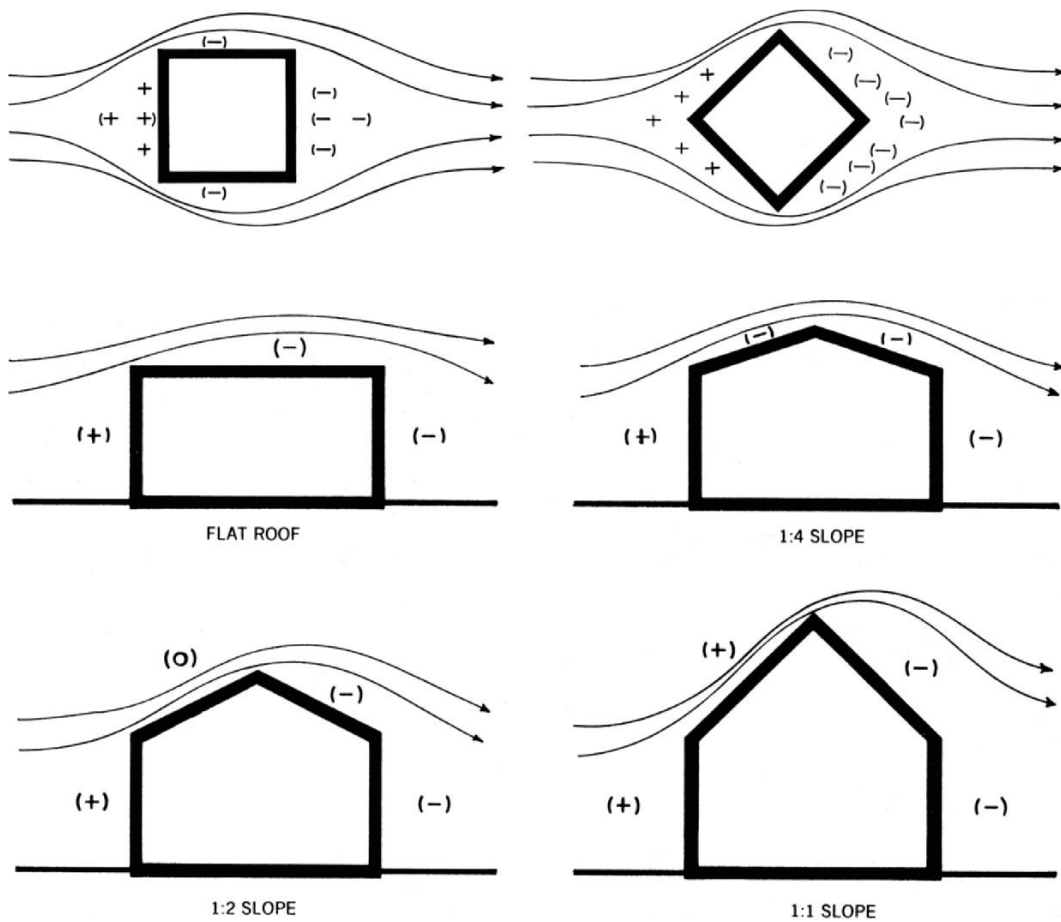
Menurut Lechner (2007) beberapa prinsip-prinsip dasar pergerakan udara, di antaranya:

- Aliran udara bergerak secara alami dikarenakan perbedaan temperatur ataupun perbedaan tekanan di selubung bangunan.
- Pola aliran udara terbagi menjadi 4 kategori, yaitu pergerakan udara berlapis/*laminar*, terpisah/*separated*, turbulensi, dan *eddy* (Gambar 2.2).



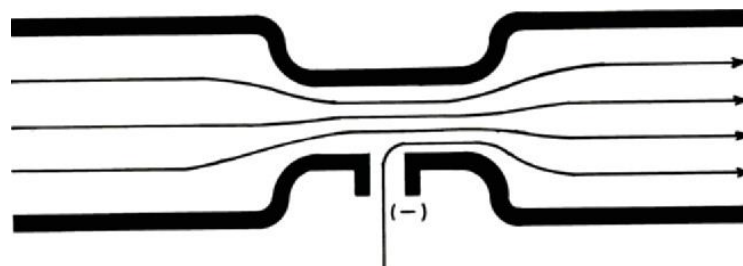
Gambar 2.2 Pola aliran udara (Lechner, 2007)

- Kelembaman dan inersia udara cenderung bergerak dengan garis lurus, ketika dipaksakan alirannya akan mengikuti lekukan dan tidak akan pernah membentuk sudut.
- Udara tidak diciptakan maupun dihilangkan pada suatu tempat, sehingga udara yang sedang mendekati suatu bangunan harus setara dengan udara yang keluar dari bangunan itu.
- Area tekanan tinggi dan rendah. Ketika angin menghantam bagian dari mana arah angin bertiup dari suatu bangunan, angin akan memadatkan dan menciptakan tekanan positif (+). Pada saat yang sama udara akan terhisap dari sisi yang terhindar dari angin, sehingga menciptakan tekanan negatif (-). Udara akan dibelokkan ke sekitar bangunan tersebut yang secara umum juga akan menciptakan tekanan yang negatif. Tekanan-tekanan ini tidak akan didistribusikan secara keseluruhan. Tipe tekanan yang tercipta di bagian atas atap akan bergantung pada faktor landainya atap. Efek distribusi tekanan angin tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tekanan angin akibat massa bangunan (Lechner, 2007)

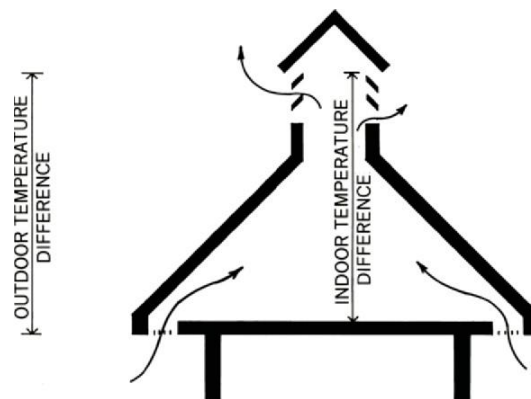
- Efek Bernoulli. Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut (Gambar 2.4). Prinsip ini merupakan penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup, sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama.



Gambar 2.4 Efek bernoulli (Lechner, 2007)



- *Stack Effect*. *Stack effect* terjadi akibat adanya daya apung (*bouyancy*). Efek *bouyancy* juga dapat terjadi jika terjadi perbedaan temperatur di dalam dan di luar bangunan. Efek ini lebih lemah daripada efek pergerakan angin akibat perbedaan tekanan. Iklim tropis memiliki temperatur diurnal yang rendah, hal ini mengakibatkan kinerja dari *stack effect* kurang bagus. Hal ini terlihat dari penelitian Cahyani (2014) yang menunjukkan kecepatan angin di dalam gedung dengan sistem penghawaan efek stack berada di angka 0.002 m/s. Mekanisme *stack effect* secara sederhana dapat terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Stack Effect* (Lechner, 2007)

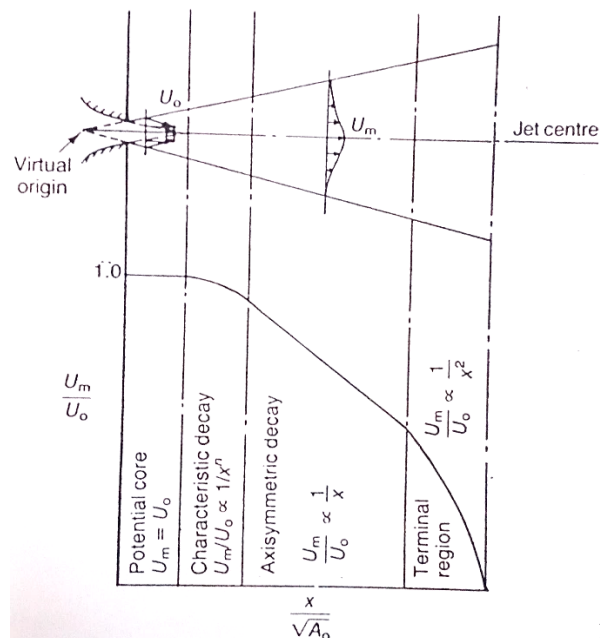
Bukaan pada bagian atas bangunan tidak selamanya hanya berfungsi akibat efek dari *stack effect*, tetapi juga dapat berfungsi sebagai *wind catcher* (Aflaki dkk, 2015). *Wind catcher* (Gambar 2.6) difungsikan untuk area padat penduduk, sehingga kesempatan untuk mendapatkan udara masuk ke dalam rumah adalah melalui cerobong atap.



Gambar 2.6 *Wind Catcher* (Aflaki dkk, 2015)

- *Air jet*. *Air jet* adalah fenomena yang terjadi ketika angin dari ruang berukuran kecil memasuki ruang berukuran besar. Fenomena ini terbentuk dari empat fase pergerakan angin yaitu, *Potential core*, *Characteristic decay*, *Axisymmetric decay*, *Terminal region* (Awbi, 1991). Fenomena air jet dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Aliran angin di fase *potential core* berkecepatan tinggi. Lama periode fase ini ditentukan oleh tipe *inlet* dan turbulensi yang terjadi, namun pada umumnya dapat mencapai jarak 5-10 kali ketinggian *inlet*. Selanjutnya, pada fase *characteristic decay*, *potential core* telah tergerus oleh *free shear layer* dan kecepatan angin secara bertahap menurun. Pada fase ini, pergerakan angin mulai melebar ke segala arah. Turbulensi mengakibatkan aliran angin berkecepatan lebih rendah. Fase *terminal region* yaitu kondisi pada saat aliran angin telah menyatu dengan udara di dalam ruangan sehingga tidak dapat lagi dibedakan dengan udara di dalam ruangan.



Gambar 2.7 *Air jet* di dalam ruangan (Aynsley, 1977)

## 2.3 Pergerakan Udara Ruang Luar (Mikroklimatik)

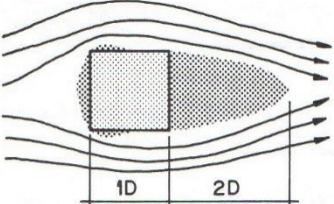
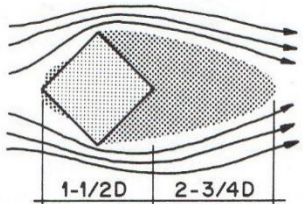
Interaksi dari bangunan dan lingkungan sekitarnya sangatlah kompleks, terutama mengenai pola aliran angin dalam skala mikroklimatik. Interaksi ini dapat mempengaruhi kecepatan angin tersebut, memecah aliran angin, memantulkannya ataupun menyaringnya. Boutet (1987) menjelaskan bahwa, pergerakan udara di lingkungan luar dipengaruhi oleh keberadaan penghalang seperti bangunan dan vegetasi yang terbentuk karena adanya kombinasi bentuk, ketinggian dan jarak pada karakter tapak tertentu.

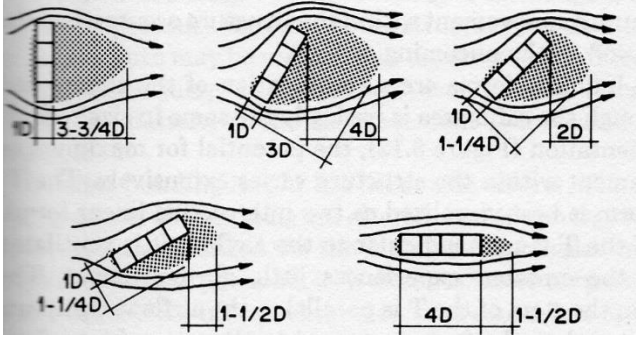
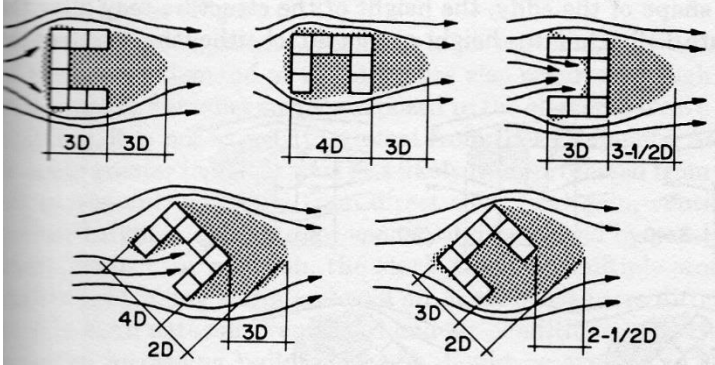
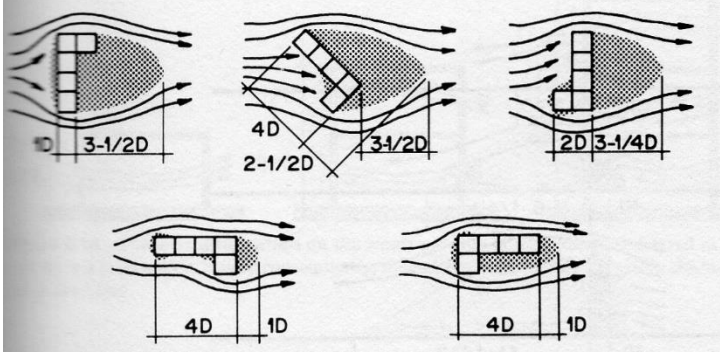
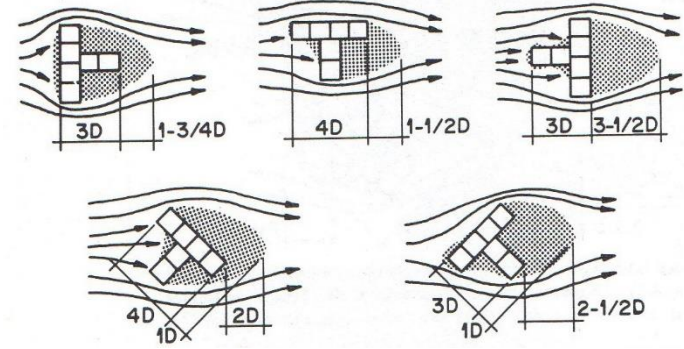
### 2.3.1 Bangunan

Elemen bangunan memberikan efek pada terciptanya angin di sekitar bangunan. Elemen-elemen tersebut antara lain konfigurasi, orientasi, ketinggian, teritisan, bentuk atap, dan bentuk. Lebar/kedalaman (D) bangunan memegang peranan penting dalam terciptanya pergerakan angin. Menurut Boutet (1987) pergerakan udara di sekitar bangunan yang dipengaruhi oleh konfigurasi bangunan menentukan besarnya pembentukan aliran *eddy* di lingkungan. Panjangnya aliran *eddy* yang terbentuk dipengaruhi oleh lebar/kedalaman (D), panjang (L) dan tinggi bangunan (H), dimana jika  $H = L = D$ , maka calm depth ( $D_c$ ) yang terbentuk adalah  $2D$ .

Boutet (1987), mempermudah pengelompokan bangunan dengan menyederhanakan bangunan-bangunan perumahan menjadi 5 bentukan primer. Bentuk-bentuk tersebut mempresentasikan aliran angin dan zona tenang berbeda-beda. Ke lima bentukan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5

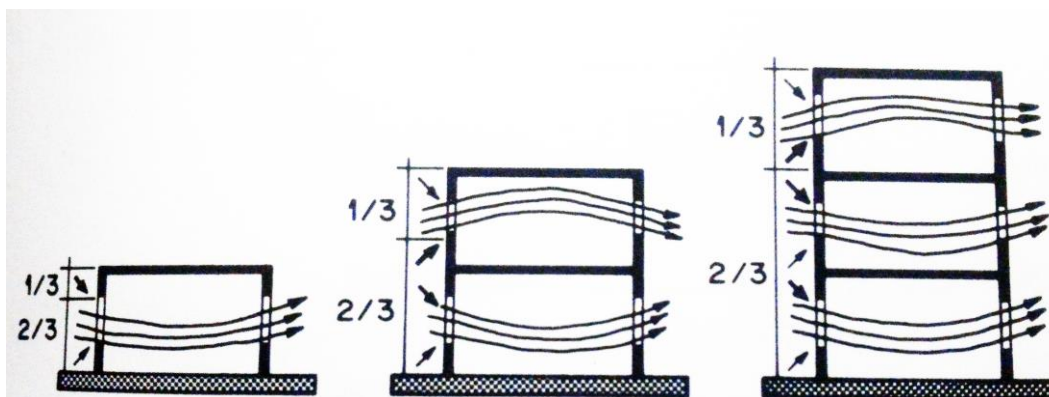
Tabel 2.5 Lima bentukan primer dan zona tenang yang terbentuk

Keterangan	Bentukan primer
Bangunan kotak orientasi tidak terlalu berpengaruh besar	 

Keterangan	Bentukan primer
<p>Bangunan Linear</p> <p>memberikan variasi zona tenang sesuai dengan orientasi</p>	
<p>Bangunan U</p> <p>memberikan potensi wind exposure lebih besar jika berorientasi paralel dengan arah datang angin.</p>	
<p>Bangunan L</p> <p>serupa dengan bangunan persegi panjang linear</p>	
<p>Bangunan T</p> <p>Hampir serupa dengan bangunan kotak ataupun linear, tergantung pada orientasi</p>	

Sumber: Boutet (1987)

Ketinggian bangunan mempunyai efek yang berbeda terhadap kecepatan angin. Semakin tinggi bangunan, distribusi jalur aliran angin akan berubah. Lebih banyak angin melewati sisi-sisinya dan sepertiganya mengarah ke atas. Hal itu menyebabkan gerakan udara naik ke atas di sepanjang permukaan *windward* bangunan. Efek tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perbedaan tekanan akibat ketinggian pada area *windward* (Boutet, 1987)

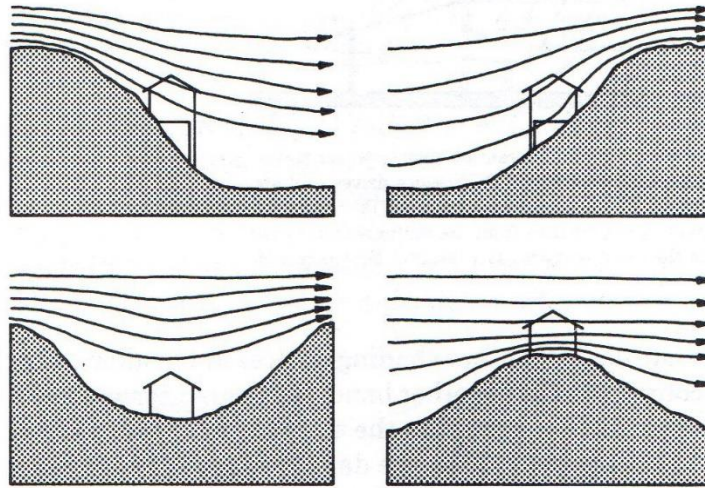
Bentukan atap berpengaruh pada pola aliran udara di lingkungan luar, bentuk atap juga mempengaruhi aliran udara di dalam struktur bangunan, dimana kemiringan atap dapat menentukan volume, kecepatan dan pola aliran angin baik di lingkungannya maupun di interior bangunannya. Semakin besar sudut kemiringan atap yang tegak lurus terhadap arah datangnya angin, volume aliran udara yang melalui bagian atas bangunan akan semakin besar dan membentuk area calm yang semakin besar pula. Terbentuknya *eddy* juga ditentukan dengan perbandingan ketinggian atap terhadap lebar bangunan.

### 2.3.2 Bangunan dan topografi

Sebuah bangunan pasti berdiri diatas permukaan tanah, hal ini tentunya mempunyai dampak pada lingkungan tersebut. Topografi dalam hal ini kontur, kekasaran permukaan, dan kedekatan dengan permukaan air memberikan efek-efek tertentu terhadap pergerakan udara. Pada skala mesoklimatik dan mikroklimatik, kontur topografi memberi dampak membelokan angin sesuai dengan naik turun permukaan tanah, hal ini dapat menyebabkan laju angin bertambah, maupun

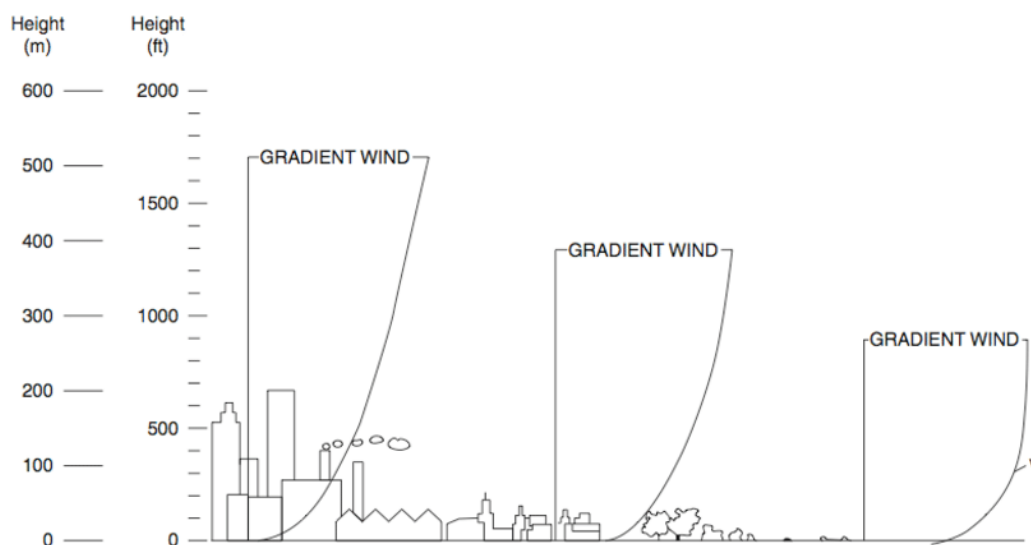


berkurang. Perubahan pola aliran bangunan terhadap kontur dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pergerakan angin terhadap kontur (Boutet, 1987)

Kekasaran permukaan (*terrain roughness*) dapat menciptakan *friction*. Hal ini terjadi akibat adanya gesekan antara aliran udara dengan sebuah permukaan seperti tanah, air ataupun permukaan bangunan. *Friction* mengakibatkan perbedaan kecepatan udara berdasarkan ketinggian atau jarak dengan permukaan tanah. Semakin tinggi atau terbebas dari halangan *friction* akan berkurang dan kecepatan udara menjadi lebih tinggi.



Gambar 2.10 Tipe kekasaran permukaan (*terrain roughness*) (Aynsley, 1977)

Kecepatan angin dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan ketinggian di atas permukaan tanah, tingkat referensi untuk kecepatan angin harus ditentukan untuk digunakan dalam perhitungan tekanan angin. Hal ini umumnya diambil berdasarkan tinggi bangunan (Liddament, 1996). Biasanya data angin '*on-site*' tidak tersedia dan informasi dari stasiun cuaca lokal harus digunakan. Data tersebut harus dikoreksi untuk memperhitungkan perbedaan antara tinggi pengukuran dan ketinggian bangunan dan untuk memperhitungkan pengaruh pada kecepatan angin dari kekasaran permukaan yang mengganggu. Karena nilai kecepatan angin adalah kuadrat dalam persamaan tekanan angin, penggunaan data mentah dari stasiun meteorologi dapat mengakibatkan kesalahan perhitungan yang signifikan. Idealnya, data angin harus diperoleh dari situs lokal yang memiliki topografi serupa (misalnya tidak dipisahkan dengan mengisolasi perbukitan). Penghitungan kecepatan angin pada posisi ketinggian tertentu “z”, dapat digunakan rumus *power law* (Aynsley, 1977) pada persamaan 2.6.

$$V_z = V_g (Z/Z_g)^\alpha \quad (2.6)$$

Aynsley dkk (1977) juga ikut berperan dalam menentukan gradien kekasaran permukaan. Ia menambahkan satu klasifikasi gradien kekasaran permukaan dengan memisahkan *open sea*, *ice*, *tundra*, dan *desert* dengan *open country*. Klasifikasi dari *terrain roughness* dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Koefisien *terrain roughness*

No	Terain Description	Gradient Height (Z <sub>g</sub> )	Roughness leght (m)	Mean speed exponent (α)	Gust speed exponent (β)
1	Open sea, ice, tundra, desert	250	0.001	0.11	0.07
2	Open country with low scrub or scattered trees	300	0.03	0.15	0.09
3	Suburban, small town, well wooded area	400	0.3	0.25	0.14
4	Numerous tall buildings, city center, well developed industrial area	500	3	0.36	0.20

Sumber: Aynsley (1977)

### **2.3.3 Bangunan dan vegetasi**

Vegetasi berperan penting pada perencanaan bangunan. Selain karena keindahan lansekapnya vegetasi menjadi alat untuk mereduksi panas radiasi dan mengontrol pergerakan angin. Vegetasi dalam fungsinya terhadap aliran angin dibagi menjadi 2 kelompok yaitu semak-semak dan pepohonan.

Semak-semak adalah pagar pembatas alami., dan tidak seperti pagar buatan, semak menciptakan pergerakan dan pola angin yang tidak dapat diprediksi. Tetapi semak mempunyai fungsi untuk memecah dan menyaring aliran angin utama menjadi angin yang lebih lembut.

Sama seperti semak, pepohonan juga berfungsi untuk mereduksi panas dan mengontrol angin, hanya berbeda skala. Dedaunan dari pohon menyaring udara menjadi lebih lembut, sedangkan kecepatan angin di area bawah kanopi pohon akan ditingkatkan. Sebesar apa angin dibelokan akan tergantung dari tinggi, lebar, kerapatan dedaunan, pola penataan vegetasi, dan spesies pohon. Tahun 1600an Andre Le Notre, seorang desainer lanskap, menyarankan agar “pohon terdekat dengan rumah harus mempunyai jarak yang sama dengan ketinggian rumah tersebut”.

### **2.3.4 Bangunan dan pagar pembatas**

Pagar adalah benda yang diciptakan manusia sebagai imitasi dari semak-semak, fungsinya adalah untuk menghalangi, membuat batas dan mengontrol kecepatan angin di sekitar bangunan. Pagar dapat menciptakan zona tenang angin, menyediakan area yang bebas dari gangguan angin, mempercepat ataupun mengurangi laju kecepatan angin, dan merubah pola pergerakan angin.

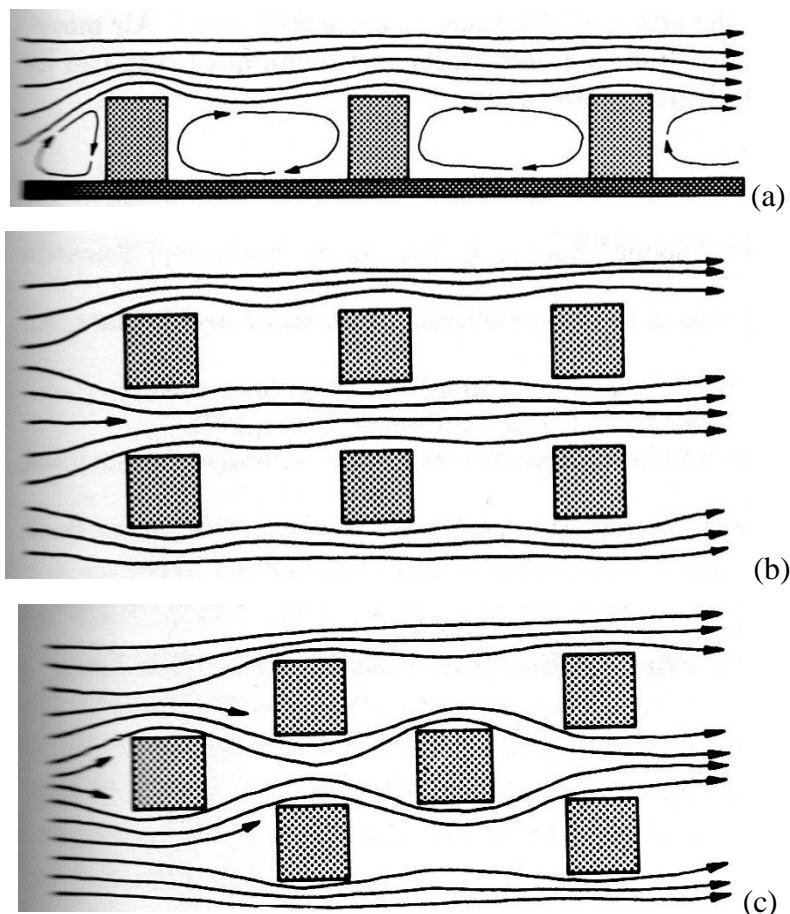
### **2.3.5 Bangunan terhadap bangunan lainnya**

Tatanan massa bangunan dalam suatu kawasan akan mempengaruhi pola aliran angin di sekitar bangunan tersebut. Letak bangunan yang membentuk sudut terhadap arah datang angin, akan mengurangi kecepatan angin sebesar 50-60% (Boutet, 1987). Bangunan yang diposisikan berturut-turut dapat menciptakan beberapa turbulensi yang berisi pergerakan udara kecil dan menciptakan pola lompatan aliran angin yang tidak biasa. Selain itu, ruang antara bangunan



menyebabkan aliran udara di sepanjang aliran angin menyempit. Akibatnya, bangunan tidak dapat menerima pergerakan udara dengan kecepatan yang signifikan.

Untuk area beriklim tropis lembab pengaturan penataan bangunan sejajar tidak efektif untuk pemanfaatan aliran angin. Dengan pengaturan penempatan lokasi bangunan tidak berbaris atau papan catur dengan kemiringan  $45^{\circ}$  terhadap arah datang angin, proses penyejukan melalui angin akan maksimal karena total area kulit bangunan yang terkena angin lebih banyak, sedangkan untuk daerah dengan iklim dingin, pola penataan memusat dan sejajar sangat menguntungkan sebagai proteksi angin musim dingin. Perbedaan pola angin tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Pola angin terhadap bangunan, (a) terdapat zona tenang yang memungkinkan adanya *eddy*, (b) tatanan linear yang memblok angin, (c) memungkinkan semua massa mendapat aliran angin (Boutet, 1987)

## 2.4 Pola Aliran Angin di Dalam Bangunan

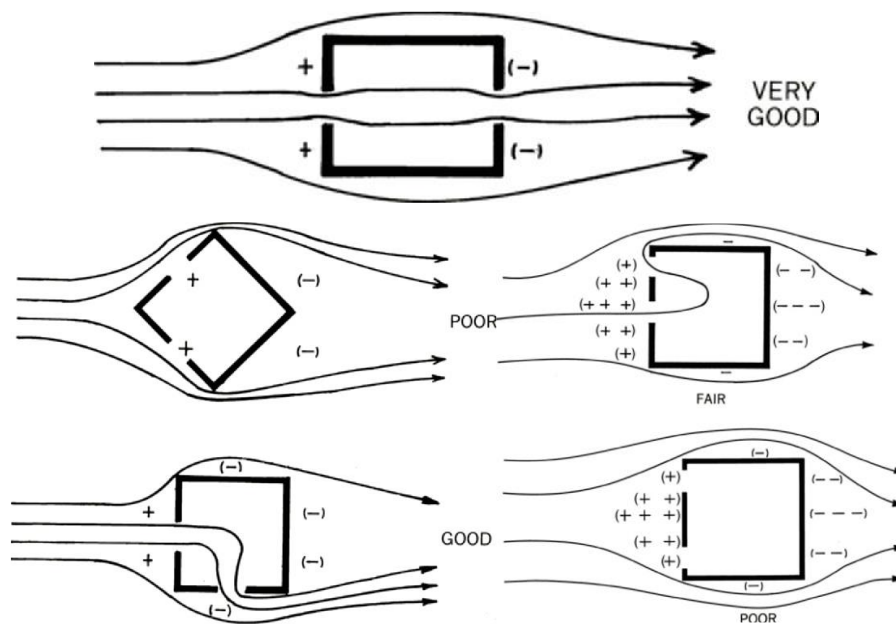
Angin alami sebagian besar memasuki bangunan karena adanya prinsip penghawaan silang. Penghawaan silang merupakan sistem penghawaan alami yang memanfaatkan kejadian angin alami. Pergerakan angin tersebut terjadi akibat adanya perbedaan kemampuan daratan dan lautan untuk menyimpan dan melepaskan panas yang menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di darat dan di laut. Pemanfaatan angin untuk penghawaan silang harus memperhatikan perbedaan tekanan antara *windward* dan *leeward*. Perbedaan tekanan dapat diperoleh dengan meletakkan *opening* di posisi yang benar, seperti di area *windward* dan *leeward*.

Menurut Boutet (1987) dan Lechner (2007) Beberapa faktor menentukan pola aliran udara di dalam bangunan, yaitu distribusi tekanan disekitar bangunan, arah angin terhadap jendela, ukuran dan lokasi bukaan, bentuk bukaan, dan partisi interior. Masing-masing faktor ini akan dijelaskan secara lebih detail.

### 2.4.1 Penempatan dan orientasi

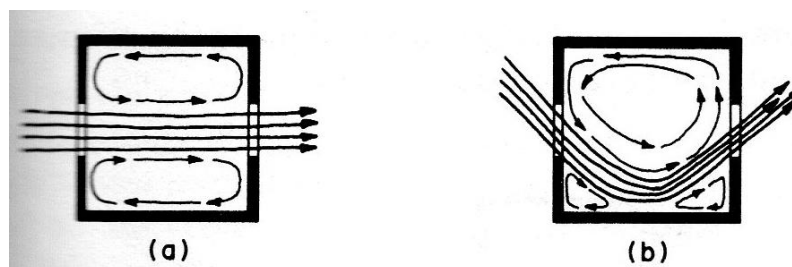
Aliran angin terhadap bangunan akan dibelokan mengelilingi bentuk dari bangunan tersebut. Pergerakan ini menghasilkan perbedaan tekanan yang berakibat terjadinya zona tenang (*calm*)/bayangan angin (*wind shadow*) ataupun *eddy*. Tekanan ini dapat berupa tekanan positif dan tekanan negatif. Tekanan positif terdapat pada *windward* bangunan yang menyebabkan kecepatan angin menurun hingga angin tersebut menemukan arah angin baru, ketika telah menemukan arah tersebut kecepatan angin tersebut akan menjadi lebih kencang dibandingkan kecepatan asalnya. Sedangkan tekanan negatif terdapat di *leeward* atau sisi bangunan (Gambar 2.12).

*Inlet* bukaan sebaiknya terdapat di zona tekanan positif sedangkan *outlet* terdapat di zona negatif. Hal ini memberi dampak maksimum angin memasuki bangunan.



Gambar 2.12 Pergerakan angin terhadap posisi bukaan (Boutet, 1987)

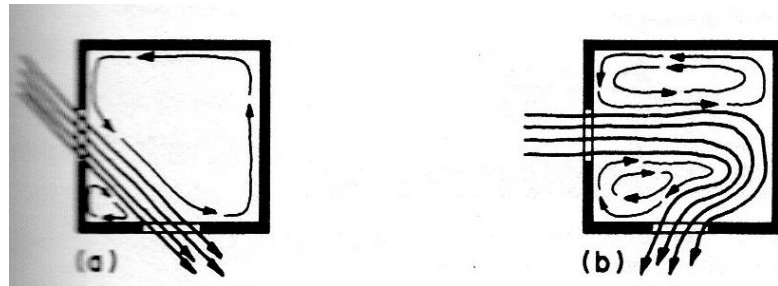
Pergerakan angin juga dipengaruhi oleh arah dari angin memasuki bukaan. Ketika pergerakan angin tegak lurus terhadap *inlet* dan sejajar dengan *outlet*, aliran udara akan melewati ruang interior dalam aliran sempit. Hal lain jika arah angin yang masuk miring terhadap *inlet*, pergerakan angin akan memutar dan beredar didalam ruangan (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Pergerakan angin terhadap bukaan sejajar, (a) aliran angin sejajar, (b) aliran angin miring (Boutet, 1987)

Ketika *inlet* dan *outlet* tidak sejajar (tegak lurus), pergerakan angin di dalam pun akan berubah. Ketika arah angin condong ke *inlet* dengan arah menuju *outlet*, aliran udara akan melewati ruang interior dalam aliran sempit. Tetapi jika arah

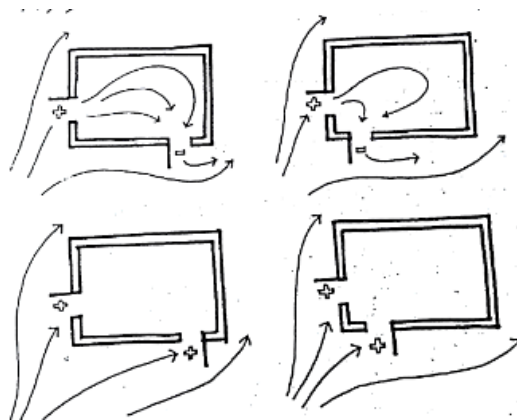
udara yang masuk tegak lurus dengan *inlet*, maka angin akan menyebar di seluruh ruangan (Gambar 2.14).



Gambar 2.14 Pergerakan angin terhadap bukaan tegak lurus, (a) aliran angin miring, (b) aliran angin sejajar (Boutet, 1987)

Penghawaan alami dapat bekerja dengan maksimal apabila satu *opening* diorientasikan ke area *windward* dan satu *opening* diorientasikan ke area *leeward*. Konfigurasi tersebut bertujuan untuk menciptakan perbedaan tekanan yang lebih besar di dalam dan di luar bangunan, karena pada sisi *windward* tekanan bernilai positif dan sisi *leeward* tekanan bernilai negatif (Moore, 1993).

Prinsip perbedaan tekanan ini dibuktikan melalui pengaplikasian *wing walls*. Penambahan *wing walls* pada dinding eksterior dapat menciptakan tekanan bernilai positif dan negatif (Gambar 2.15). Apabila terjadi kesalahan pada peletakan *wing walls* sehingga tekanan di kedua *opening* bernilai positif, maka aliran angin di dalam ruang akan sangat kecil bahkan tidak terjadi aliran angin.



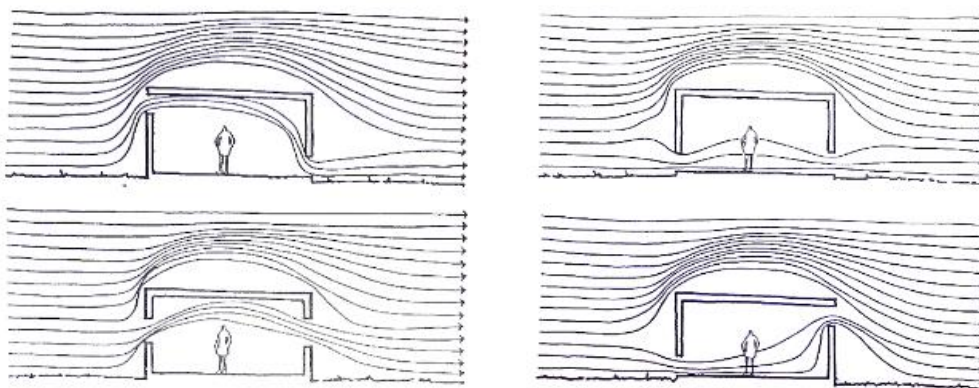
Gambar 2.15 Peran *Wing Walls* dalam Menciptakan Perbedaan Tekanan (Moore, 1993)

### 2.4.2 Tipe bukaan dan perletakan

Pada dasarnya bukaan dibagi menjadi 2 tipe, bukaan yang berfungsi untuk memasukan angin ke dalam bangunan (*inlet*) dan bukaan yang mengeluarkan angin dari dalam bangunan (*outlet*). *Inlet* dapat menjadi *outlet* begitu pula sebaliknya, tergantung dari arah datangnya angin. Bukaan dapat berupa pintu, jendela, lubang angin ataupun desain penghawaan lainnya.

Evans (1980) menyatakan ada 4 jenis aliran udara yang dipengaruhi bukaan di dinding (Gambar 2.16), yaitu:

1. *inlet* dan outdoor tinggi menghasilkan perpindahan udara yang tidak bagus pada ketinggian tubuh.
2. *Inlet* dan *outlet* rendah menghasilkan pola pergerakan udara yang bagus, jika dibutuhkan untuk pendinginan.
3. *Inlet* rendah dan *outlet* tinggi juga menghasilkan pola angin di level ketinggian yang rendah.
4. Aliran udara di ketinggian atap oleh *inlet* tinggi sulit dipengaruhi oleh *outlet* dibawah.



Gambar 2.16 Gerakan Aliran Udara pada Potongan Bangunan (Evans, 1980)

Posisi bukaan yang baik untuk pendinginan fisiologis menurut Allard (1998) yaitu berada pada ketinggian tubuh manusia (100-150 cm). Hal ini juga diujikan pada penelitian Mediastika (2002) bahwa posisi ketinggian yang baik untuk pendinginan yaitu 50-100 cm.

### 2.4.3 Ukuran dan rasio

Penghawaan silang sangat bergantung kepada kecepatan angin. Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan angin di dalam ruangan adalah ukuran *inlet* dan *outlet* serta peletakan *inlet* dan *outlet* (Tabel 2.7 – 2.8). *Inlet* berukuran lebih besar dari *outlet* menghasilkan angin dengan kecepatan rata-rata terendah. *Inlet* lebih kecil dari *outlet* menghasilkan kecepatan rata-rata angin yang lebih baik. *Inlet* dan *outlet* berukuran sama besar menghasilkan kecepatan rata-rata angin tertinggi (Allard, 1998).

Tabel 2.7 Rasio WWR *Inlet* dan *Outlet* pada dinding yang sejajar

Pengondisian		V <sub>avg</sub> (%)
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 1/3	35
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 2/3	39
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 1	44
WWR <i>Inlet</i> 2/3	WWR <i>Outlet</i> 1/3	34
WWR <i>Inlet</i> 2/3	WWR <i>Outlet</i> 2/3	37
WWR <i>Inlet</i> 2/3	WWR <i>Outlet</i> 1	45
WWR <i>Inlet</i> 1	WWR <i>Outlet</i> 1/3	32
WWR <i>Inlet</i> 1	WWR <i>Outlet</i> 2/3	36
WWR <i>Inlet</i> 1	WWR <i>Outlet</i> 1	47

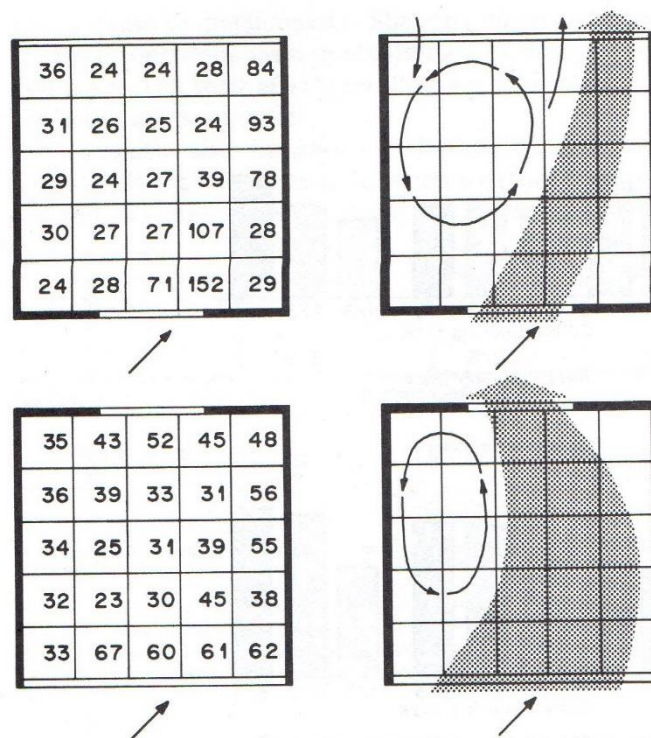
Sumber: Allard (1998)

Pada kondisi salah satu *opening* lebih besar dari *opening* lain, penghawaan silang dapat bekerja dengan maksimal hanya dari satu orientasi yaitu dari arah *opening* terbesar. Oleh karena itu, untuk kasus dengan orientasi angin dari dua arah, *opening* dengan ukuran sama besar akan menghasilkan kinerja penghawaan yang lebih baik (Gambar 2.17).

Tabel 2.8 Rasio WWR *Inlet* dan *Outlet* pada dinding yang tegak lurus

Pengondisian		V <sub>avg</sub> (%)
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 1/3	45
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 2/3	39
WWR <i>Inlet</i> 1/3	WWR <i>Outlet</i> 1	51
WWR <i>Inlet</i> 2/3	WWR <i>Outlet</i> 1/3	51
WWR <i>Inlet</i> 1	WWR <i>Outlet</i> 1/3	30

Sumber: Allard (1998)

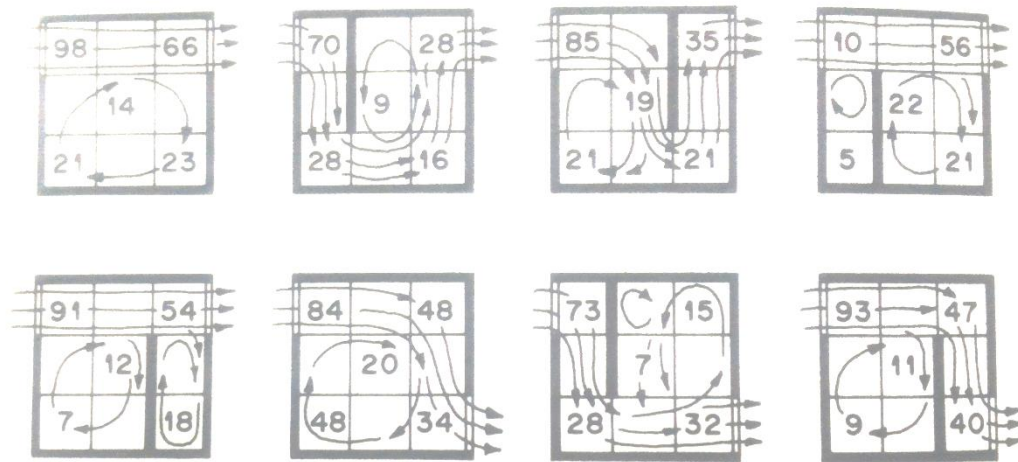


Gambar 2.17 Rasio *Inlet* dan *Outlet* terhadap pergerakan angin (Allard, 1998)

#### 2.4.4 Partisi Interior

Pada dasarnya partisi mempunyai sifat untuk menghambat aliran angin. Dengan adanya partisi penghawaan silang hampir tidak dapat dilakukan, kecuali jika ada rongga. Letak partisi sebisa mungkin tidak menghalangi distribusi udara ke dalam ruang., jika tidak hal ini dapat mengakibatkan tidak semua ruang mendapat distribusi udara yang sama.

Begitu angin masuk ke dalam interior bangunan, kecepatan dan polanya dipengaruhi oleh pola konfigurasi ruang. Meskipun partisi mempengaruhi pola pergerakan udara sampai tingkat signifikan, dampak terbesarnya adalah pada kecepatan aliran udara. Akibatnya, partisi harus begitu ditempatkan dan diatur agar aliran udara melalui ruang dioptimalkan. Lokasi pembagian ruang yang tepat dapat mendorong pergerakan udara yang lebih efektif. Meskipun partisi mengganggu aliran udara, mereka juga dapat digunakan untuk mengarahkan aliran udara. Faktor yang perlu diingat adalah bahwa setiap perubahan arah aliran udara mengurangi kecepatan dan energi internal aliran udara. Selain itu, semakin besar kecepatan awal aliran udara, semakin kecil kecepatan tereduksi saat aliran mengalami penyumbatan. Dalam semua pengaturan partisi dan penempatan bukaan, aliran udara tegak lurus terhadap lubang masuk akan masuk dengan kecepatan berkisar antara 5 sampai 98 persen aliran udara eksterior (Gambar 2.18).



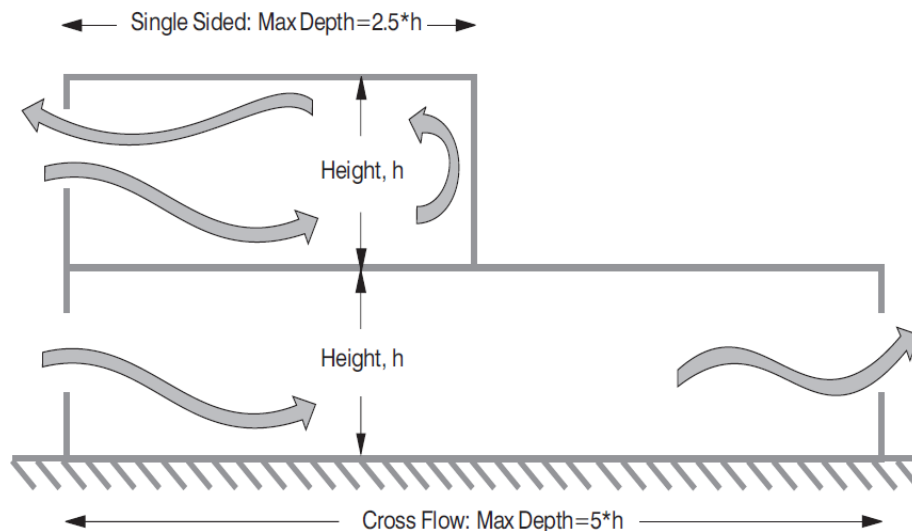
Gambar 2.18 Efek partisi pada kecepatan angin dalam ruang (Boutet, 1987)

#### 2.4.5 Kedalaman Ruang

Pergerakan angin dengan mengandalkan tekanan angin (wind driven) bergantung pada pembentukan jalur aliran udara yang tidak terganggu antara angin masuk dan angin keluar. Jalur yang dimaksud adalah kedalaman dari sebuah ruang. Untuk menembus bangunan dari celah/bukaan, angin akan mengalir pada jarak tertentu. Jarak tersebut merupakan jarak antar bukaan (*inlet* menuju *outlet*). Jarak



kedalaman angin masuk sampai pada bukaan keluar maksimal sebesar 2-2,5 kali tinggi plafon pada kedalaman 6 – 10m, untuk single-sided ventilation dan 5 kali tinggi plafon untuk cross ventilation (Liddament, 1996).



Gambar 2.19 Jarak kedalaman maksimal untuk penghawaan alami (Liddament, 1996)

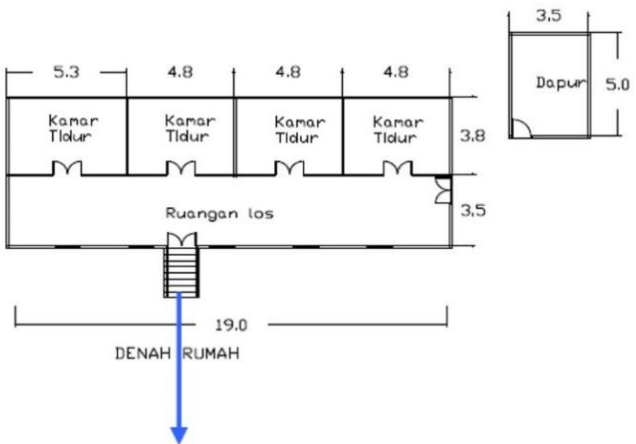
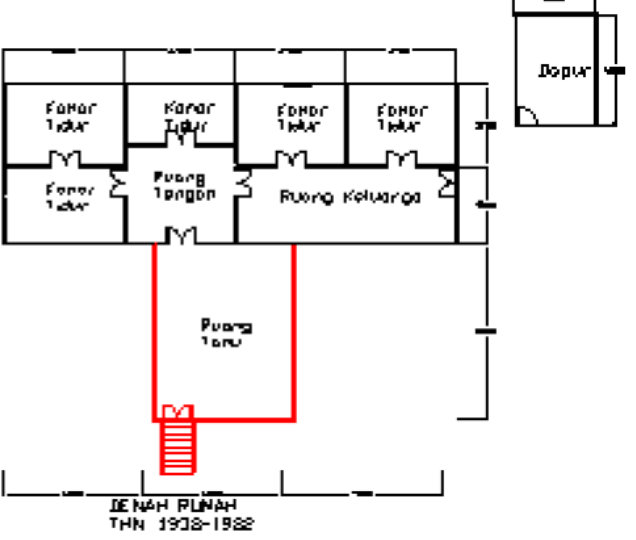
## 2.5 Rumah Betang Djaga Bahen

Masyarakat Dayak mengenal beberapa jenis rumah tempat tinggal, diantaranya Rumah Betang. Dapat dikatakan jenis rumah ini merupakan bentuk bangunan asli orang Dayak di Kalimantan Tengah. Selain Rumah Betang, ada juga Rumah Huma Gantung dan Rumah Panjang. Rumah Betang lebih bersifat sebagai rumah komunal satu keluarga besar yang terdiri dari 4-5 keluarga, biasanya mereka mendirikan Rumah Betang di pinggir sungai. Berbeda dengan Rumah Betang, Huma Gantung atau rumah tinggi adalah tidak sebesar Rumah Betang, tetapi sesuai namanya rumah ini diletakan di atas tiang-tiang yang sangat tinggi, sekitar lebih dari 4 meter dari permukaan tanah. Rumah panjang adalah rumah besar yang dirangkai bersambungan. Rumah panjang lebih sering digunakan sebagai pusat kegiatan tradisional dan kebudayaan suku Dayak, karena hampir segala kegiatan dapat dilakukan di rumah panjang.

Rumah Betang Djaga Bahen merupakan salah satu rumah tradisional suku Dayak Ngaju di Kalimantan Tengah. Djaga Bahen sebenarnya adalah seorang tokoh

masyarakat di desa Bahu Palawa, Kecamatan Kahayan Tengah, Kabupaten Pulang Pisau pada masanya. Rumah Djaga Bahen ini pertama kali didirikan pada tahun 1933, kemudian secara bertahap rumah ini mengalami perkembangan pembangunan dengan penambahan ruang-ruang. Penambahan ruang-ruang itu dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Perubahan Konfigurasi Denah

Tahun dan Perubahan	Perubahan Konfigurasi Denah
<p><u>1933-1937</u></p> <p>Masa Awal</p> <p>Terpisah dari dapur</p> <p>Tidak ada kamar mandi</p> <p>Isi 4 keluarga</p>	 <p>The diagram shows a rectangular floor plan with a total width of 19.0. It is divided into four bedrooms (Kamar Tidur) with widths of 5.3, 4.8, 4.8, and 4.8. Below the bedrooms is a living area (Ruangan los) with a width of 3.8. To the right of the living area is a kitchen (Dapur) with a width of 3.5 and a depth of 5.0. A blue arrow points downwards from the living area, labeled 'DENAH RUMAH'.</p>
<p><u>1938-1982</u></p> <p>Penambahan ruang depan sebagai ruang pertemuan</p> <p>Ruang Los disekat akibat penambahan keluarga</p> <p>Isi 6 keluarga</p>	 <p>The diagram shows the same floor plan as the previous one, but with modifications. A new front room (Ruang Depan) has been added at the bottom. The living area (Ruangan los) has been divided into two parts: a smaller front part (Ruang Depan) and a larger back part (Ruang Keluarga). The kitchen (Dapur) remains on the right. A red arrow points downwards from the front room, labeled 'DENAH RUMAH THN 1938-1982'.</p>

<p><u>1983-1990</u></p> <p>Dapur, tempat mandi dan cuci yang terintegrasi menjadi 1 dengan rumah utama</p> <p>Isi 5 keluarga</p>	
<p><u>1991-1994</u></p> <p>Penambahan Ruang Tamu dan dapur berdempetan dengan dapur baru.</p> <p>Dapur lama yang terpisah dihilangkan karena sudah tidak digunakan</p> <p>Isi 3 keluarga</p>	
<p><u>1995-sekarang</u></p> <p>Bersifat sebagai bangunan konservasi (sejarah), rumah ini menambah ruang berupa WC baru dan gudang.</p> <p>Isi 1 keluarga</p>	

Sumber: Perkasa (2010)

Rumah Betang Djaga Bahen adalah rumah yang dihuni lebih dari satu kepala keluarga. Dari tahun 1933 sampai 1991 tercatat hingga 4-6 kepala keluarga tinggal di dalam rumah tersebut, dengan tiap keluarga menghuni satu kamar. Hal

tersebut sesuai dengan kepercayaan dan kehidupan politik saat itu, yaitu keluarga lebih baik tinggal bersama karena menghindari konflik antar suku dayak. Walaupun di tahun 1995 hanya ada satu kepala keluarga yang tinggal di rumah tersebut, tetapi tetap terjadi penambahan ruang menyesuaikan dengan fungsi masa kini. Saat ini rumah ini masuk dalam kategori konservasi bangunan bersejarah sehingga renovasi yang dilakukan sebisa mungkin tidak merusak keaslian bangunan aslinya (Gambar 2.20).



Gambar 2.20 Kondisi tampak bangunan Rumah Betang Djaga Bahen (Juli, 2014)

### 2.5.1 Aktivitas Penghuni

- 1933-1937

Terdapat 4 kamar yang masing-masing dihuni oleh satu kepala keluarga sebagai tempat tidur dan ruang privat keluarga. Rumah ini juga dibuat sebagai rumah panggung, yang tangganya dapat dinaik turunkan, agar keselamatan penghuni dapat terjaga dari serangan musuh.

Pekerjaan penghuni rumah adalah berladang dan bertani, sehingga di siang hari waktu dihabiskan di ladang, sedangkan rumah hanya berfungsi untuk istirahat, tidur, memasak dan beribadah yang kebanyakan dilakukan di malam hari.

- 1938-1982

Periode ini penghuninya sudah tidak lagi berladang dan bertani, sudah lebih beragam. Selain sebagai rumah tinggal, rumah ini juga berfungsi menjadi

ruang pertemuan desa, sekolah rakyat, markas gerakan rahasia ALRI, dan kongres SKDI. Hal ini yang menyebabkan penambahan ruang berupa Ruang Tamu yang menjorok ke depan.

- 1982-sekarang

Penghuni pada rumah ini semakin berkurang, aktivitas rumah tangga seperti yang dilakukan ibu rumah tangga mulai dilakukan terus menerus di dalam rumah. Rumah Betang ini tidak lagi hanya digunakan malam hari, tetapi juga di siang hari.

### **2.5.2 Data Fisik Bangunan**

- Konstruksi bangunan

Rumah Betang Djaga Bahen adalah bangunan tunggal, biasanya terletak di sebuah tanah lapang yang dikelilingi pepohonan rimbun. Bangunan ini merupakan rumah panggung dengan ketinggian kolom kayu lebih dari 1 meter. Keseluruhan rumah terbuat dari material kayu ulin dan kayu lokal lainnya. Kolom bangunan menggunakan kayu ulin yang berfungsi sebagai pondasi dan menyangga konstruksi bangunan. Dinding bangunan berupa rangka kayu yang ditutup papan kayu. Pada bagian atap bangunan menggunakan kuda-kuda kayu dengan penutup atap sirap yang menggunakan material kulit kayu.

- Detail fasad bangunan

Dinding dan lantai rumah ini terbuat dari papan-papan kayu yang disusun dengan kerapatan yang cukup untuk menghalau angin masuk melalui celah kayu. Pada bagian plafon bangunan juga menggunakan lembaran papan kayu yang disusun rapat dan difinishing warna putih. Hampir seluruh area rumah bersifat privat, namun pada Ruang Tamu dibuat terbuka dengan jendela-jendela besar yang dapat mengekspose kegiatan yang didalamnya.

- Orientasi

Orientasi arah rumah pada periode ini berorientasi pada dua arah, yaitu berorientasi kearah sungai dan kearah jalan desa yang berada di bagian belakang rumah induk. Bagian depan rumah ini adalah sungai, karena pada

jaman dahulu sungai merupakan jalur transportasi utama masyarakat suku Dayak.

- Porositas

Pada mulanya lantai di rumah ini dibuat berpori untuk *cross ventilation* antara pori di atap (*Rumbak Tahansengan*) dan pori-pori antara bilah kayu di lantai. Sedangkan untuk dinding, dibuat dengan papan kayu yang disusun rapat untuk menghalangi angin langsung dari sisi bangunan.

- Bukaannya

Jendela pada rumah ini berukuran besar dan terbuat dari papan-papan kayu. Khusus pada bagian depan rumah, hampir seluruh dindingnya berupa jendela yang dapat dibuka (Gambar 2.21).



Gambar 2.21 Bukaannya jendela pada Rumah Betang Djaga Bahen (Juli, 2014)

### 2.5.3 *Rumbak Tahansengan*

Salah satu hal menarik dari Rumah Betang adalah 2 buah lubang seperti lubang hidung yang diletakkan di dinding gewel, yaitu *Rumbak Tahansengan*. (Asteria, 2008). Penghawaan Rumah Betang dulu menggunakan penghawaan alami, baik itu pada siang maupun malam hari yaitu menggunakan sistem *cross ventilation* dimana udara masuk melalui jendela, pintu dan *Rumbak Tahansengan*.

*Rumbak Tahansengan* ini memungkinkan angin mengalir keluar ruangan dari bagian atas bangunan, karena di jaman dahulu belum ada plafon yang memisahkan ruang atap dan ruang tempat tinggal. Lubang pada gewel ini juga membuat udara bergerak dari *Rumbak Tahansengan* menuju sela-sela lantai kayu ataupun sebaliknya. *Rumbak Tahansengan* dibuat tanpa menggunakan kusen dan berbentuk lubang di bagian atas gewel dinding kayu dengan posisi di samping fasad bangunan.



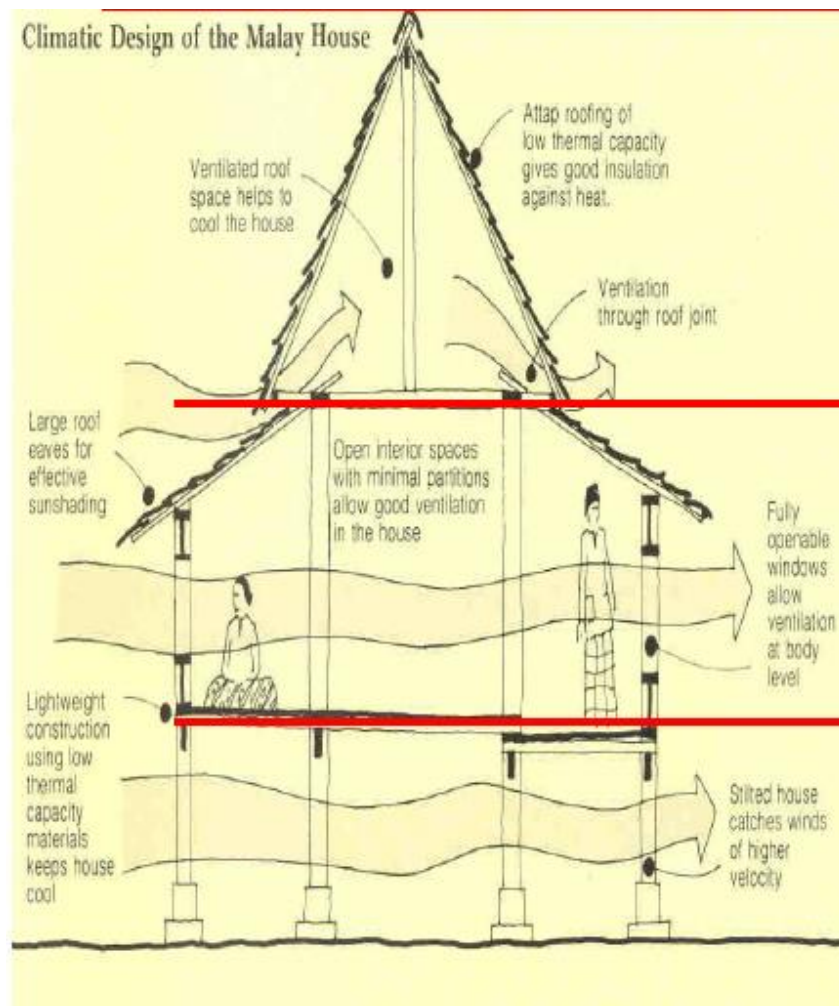
Gambar 2.22 *Rumbak Tahansengan*

#### **2.5.4 Rumah Panggung**

Salah satu keuntungan bangunan Rumah Betang terangkat dari permukaan tanah adalah hawa di dalam rumah tidak menjadi lembab (Asteria, 2008). Aliran udara di bawah lantai dapat mendinginkan lantai bangunan sekaligus mengurangi kelembaban. Lantai yang terangkat mempunyai dampak positif pada kenyamanan termal di dalam bangunan, hal ini didasari oleh desain penghawaan pasif dengan *cross ventilation* dari sela-sela lantai. Kristianto (2014) menyebutkan bahwa ada lima keuntungan dari rumah panggung pada iklim panas dan lembab;

- a. Meningkatkan pergerakan udara masuk dan keluar gedung.
- b. Menaikkan level ketinggian lantai mungkin memerlukan biaya tambahan dalam pembangunan, dalam jangka panjang dapat memberikan tambahan ruang yang multifungsi dibawah lantai

- c. Keamanan dari serangan binatang, serangga ataupun banjir yang tiba-tiba.
  - d. Memberikan privasi lebih, ketinggian lantai yang naik pada tingkat yang lebih tinggi dari itu ketinggian normal manusia secara otomatis membatasi pandangan dari pejalan kaki.
  - e. Pandangan dan pilihan yang lebih baik untuk integrasi desain lansekap.
- Kristianto (2014) menambahkan bahwa semakin besar ketinggian panggung sebuah rumah, semakin besar pula kecepatan angin didalam rumah.
- f. Gambaran mengenai aliran angin dapat dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2.23 Aliran angin pada rumah panggung Malaysia (Tahir, 2010)



## 2.6 Sintesa Kajian Pustaka

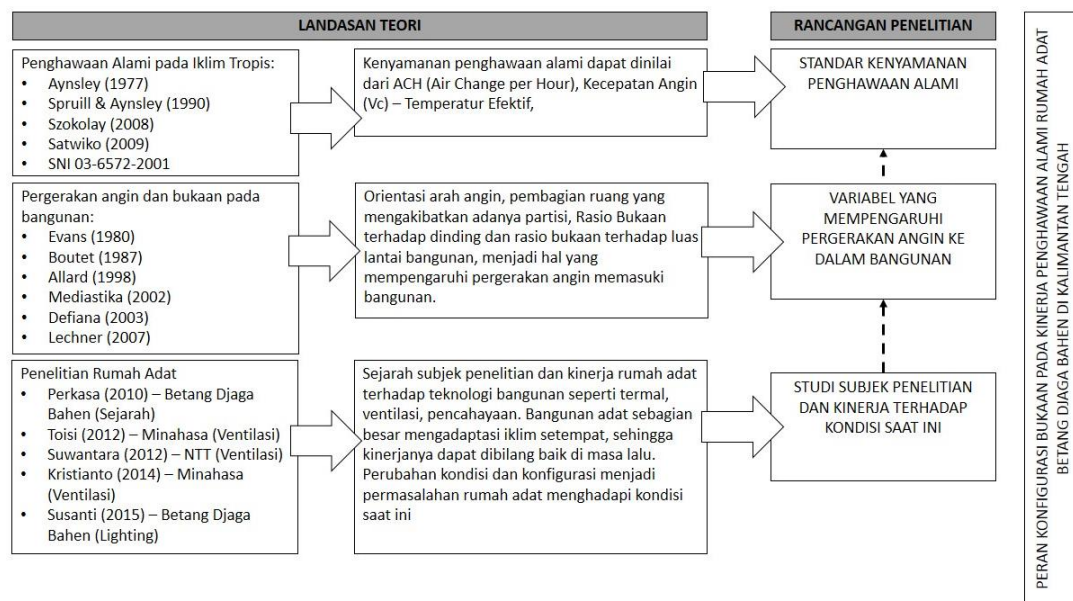
Pada daerah lembab, dimana lingkungan sekitarnya memiliki kelembaban dan temperatur udara yang tinggi, untuk mencapai kenyamanan termal diperlukan angin sebagai pendinginan secara fisiologis (Spruill dan Aynsley, 1990). Selain untuk pendinginan secara fisiologis, angin juga diperlukan untuk mengganti udara di dalam ruangan dengan udara baru yang lebih segar dan lebih sehat (Allard, 1998), hal ini sesuai dengan standar ACH (*Air change per hour*) yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001.

Di luar bangunan pola aliran angin dipengaruhi oleh keberadaan penghalang seperti bangunan dan vegetasi yang terbentuk karena adanya kombinasi bentuk, ketinggian, terrain roughness (Liddament, 1996) dan jarak pada karakter tapak tertentu (Boutet, 1987). Perubahan bangunan dari bentuk dasar linear menjadi bentuk dasar T akan mempengaruhi zona pembayangan angin yang terbentuk ( $D_c$ ) begitu pula dengan tekanan aliran angin di sekitar bangunan ( $C_p$ ). Hal ini dapat menyebabkan perubahan arah angin, peningkatan maupun penurunan kecepatan angin, ataupun filtrasi seperti yang dilakukan oleh vegetasi.

Penghawaan alami dimaksudkan untuk mengalirkan angin masuk dan keluar bangunan (penghawaan silang akibat tekanan). Pola angin tersebut, menurut Boutet (1987) dan Lechner (2007) ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu distribusi tekanan disekitar bangunan, arah angin terhadap jendela, ukuran dan lokasi bukaan, bentuk bukaan, dan partisi interior. Pada iklim tropis lembab kinerja penghawaan alami yang baik memerlukan bukaan sebesar 40% dari total luas bangunan dengan kecepatan angin 0.6 m/det (Defiana, 2003). Pada kondisi angin diam (0 m/det) diperlukan luasan sebesar 50% dari total luas lantai (Mediastika, 2002). Posisi bukaan yang baik untuk pendinginan fisiologis menurut Allard (1998), yaitu berada pada ketinggian tubuh manusia (100-150 cm). Hal ini juga diujikan pada penelitian Mediastika (2002) bahwa posisi ketinggian yang baik untuk pendinginan yaitu 50-100 cm. *Inlet* dan *outlet* berukuran sama besar menghasilkan kecepatan rata-rata angin tertinggi (Allard, 1998).

Rumah Betang Djaga Bahen mengutamakan penghawaan alamisebagai pendinginan fisiologis, hal tersebut dapat dilihat dengan adanya peristiwa *cross ventilation*. *Cross ventilation* dapat berjalan baik pada sebuah ruang tunggal karena

*inlet* dan *outlet* berada pada ruangan yang sama, sedangkan pada Rumah Betang Djaga Bahen yang telah berubah dan memiliki cukup banyak sekat antara ruangnya *cross ventilation* dapat menyebabkan *eddy* sehingga udara tidak banyak terganti pada beberapa ruang. Hal ini akan mengurangi kecepatan angin dan nilai ACH ruang tertentu. Kenyamanan dan pergerakan udara akan dinilai berdasarkan nilai ACH dan standar dari SNI. Penelitian ini mempunyai posisi sebagai pelengkap ilmu pengetahuan mengenai teknologi bangunan dan lingkungan pada rumah adat. Rumah Betang Djaga Bahen ini telah diteliti sebelumnya oleh Susanti (2015), yang membahas mengenai pencahayaan alami dalam rumah tersebut, sedangkan penelitian ini akan melengkapi kajian mengenai rumah tersebut mengenai aspek penghawaan alami dan pengaruhnya pada kenyamanan termal. Diagram kajian pustaka pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.24



Gambar 2.24 Diagram hasil studi terdahulu

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Paradigma Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan ruang dan bukaan terhadap kinerja sistem penghawaan alami di dalam Rumah Betang Djaga Bahen. Kinerja penghawaan alami pada penelitian ini didasarkan pada terpenuhinya kebutuhan udara dan kualitas udara di dalam Rumah Betang Djaga Bahen. Kebutuhan aliran dan kualitas udara di dalam rumah dibutuhkan untuk kenyamanan dalam hal ini sebagai pendinginan fisiologis dan kesehatan penghuni.

Paradigma positivistik menjadi landasan epistemologis dalam penelitian ini (Groat & Wang, 2002). Pemilihan paradigma positivistik didasarkan karena penelitian ini mengutamakan validasi internal terhadap data yang diperoleh dan objektivitas melalui prosedur pengukuran lapangan.

#### **3.2 Metode Penelitian**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan simulasi sebagai alat dengan tujuan untuk melihat pengaruh dari bukaan terhadap kecepatan angin yang dibutuhkan untuk pendinginan fisiologis dan pemenuhan kualitas udara di dalam ruang dengan memberikan *treatment* (Groat & Wang, 2002).

Program simulasi komputer yang digunakan adalah CFD (*computational fluid dimentional*) dengan *software* ANSYS 16.2. Metode eksperimen dengan bantuan simulasi ini telah banyak digunakan di beberapa penelitian sebelumnya, antara lain Rakhmawati (2016) yang meneliti tentang penghawaan pada gedung olahraga. Muhammad (2016) melakukan evaluasi penghawaan alami ruang kelas. Shetabivash (2015), menggunakan eksperimen dengan melihat pengaruh posisi dan bentuk bukaan pada bangunan. Peren, dkk (2015) menggunakan eksperimen untuk melihat pengaruh kemiringan atap terhadap posisi openings dalam menghasilkan kinerja penghawaan pada bangunan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa penelitian pergerakan udara di dalam bangunan dapat dilakukan dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Pemilihan metode ini berdasarkan kemudahan dalam mengontrol variabel-variabel yang mempengaruhi hasil simulasi dan fleksibilitas dalam menentukan jumlah simulasi.

### 3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel terbagi menjadi dua yaitu variabel bebas (*independent*) dan variabel terikat (*dependent*). Variabel bebas adalah variabel yang dapat berubah-ubah sedangkan variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel bebas pada penelitian ini adalah konfigurasi denah dan bukaan. Adapun variabel terikat yaitu nilai pertukaran udara di dalam ruang (ACH) dan kecepatan angin.

Kenyamanan termal pengguna juga diperhitungkan sebagai standar kenyamanan penghuni pada penelitian kali ini dengan pertimbangan kecepatan angin yang sesuai dengan temperatur dan kelembaban yang didapat dari hasil pengukuran. Pembagian variabel dan definisi operasionalnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Definisi Operasional Variabel

VARIABEL BEBAS	
Konfigurasi Denah	Perubahan denah yang terjadi terkait pada renovasi rumah adat
Konfigurasi Bukaan	Penambahan ataupun pengurangan jumlah bukaan akibat adanya renovasi pada rumah adat dan bukaan tradisional <i>Rumbak Tahansengan</i>
VARIABEL TERIKAT	
Kecepatan Angin	Nilai kecepatan angin di dalam dan luar ruangan, didapatkan dari hasil pengukuran untuk verifikasi simulasi
<i>Air Change per hour</i> / pertukaran udara tiap jam	Tingkat pertukaran udara per jam di setiap ruang, didapatkan melalui hasil perhitungan dan simulasi

### 3.4 Subjek Penelitian

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, subjek penelitian ini adalah Rumah Betang Djaga Bahen. Berikut adalah lokasi dan keadaan fisik dari subjek penelitian.

#### 3.4.1 Lokasi

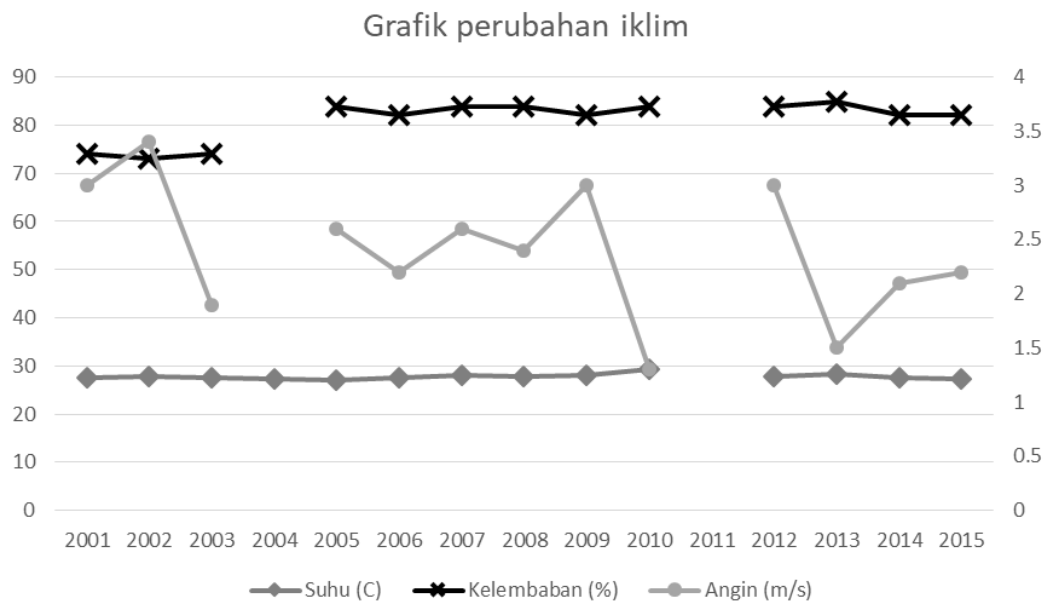
Rumah Betang Djaga Bahen terletak di desa Bahu Palawa, Kecamatan Kahayan Tengah, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah (Gambar 3.1). Berlokasi di  $1^{\circ}57'26''\text{LS}$  dan  $113^{\circ}57'13''\text{BT}$  dengan ketinggian  $\pm 9$  m di atas ketinggian laut, rumah ini terletak diantara rumah-rumah lain dengan jarak yang cukup renggang. Daerah ini diapit oleh jalan utama di sisi Timur dan sungai di sisi Barat. Lingkungan ini masih banyak dikelilingi oleh pepohonan, sehingga angin yang datang sudah mendapat obstruksi dari tanaman di sekeliling bangunan. Secara topografi, kejarangan bangunan dan ketinggian bangunannya, tingkat kekasaran permukaan pada lingkungan ini termasuk pada kelas *open/flat country*.



Gambar 3.1 Peta Lokasi di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah

### 3.4.2 Iklim

Iklim makro di Kalimantan Tengah dibagi menjadi empat daerah pengukuran yaitu, Pangkalan Bun, Sampit, Buntok, Muara Teweh, Palangkaraya. Dilihat dari letak geografisnya dan kedekatannya, daerah Bahu Palawa termasuk ke dalam pengukuran iklim daerah Palangkaraya. Pada penelitian ini diperlukan minimal data iklim dalam 10 tahun terakhir (Lampiran A), hal ini agar dapat melihat pola perubahan iklim yang terjadi pada daerah tersebut. Gambar 3.2 menunjukkan perubahan iklim yang terjadi dalam 10 tahun terakhir, dimana dibandingkan dengan kelembaban dan temperatur, kecepatan angin cukup fluktuatif.



Gambar 3.2 Grafik perubahan iklim Kalimantan Tengah (bps.go.id)

### 3.4.3 Bentuk

Rumah Djaga Bahen adalah bangunan tunggal, terletak di sebuah tanah lapang yang dikelilingi pepohonan rimbun. Bangunan ini merupakan rumah panggung dengan ketinggian kolom kayu lebih dari 1 meter. Keseluruhan rumah terbuat dari material kayu ulin dan kayu lokal lainnya. Orientasi bangunan menghadap sungai karena dahulu sebagai transportasi utama.



Gambar 3.3 Tampak Rumah Betang Djaga Bahen (Juli, 2014)

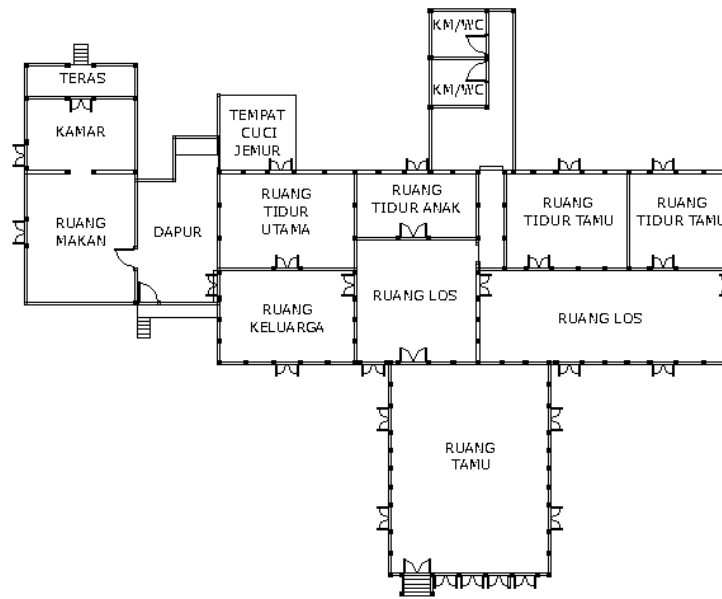


Gambar 3.4 Tampak Interior Ruang Tamu (Juli, 2014)

#### 3.4.4 Pembagian Ruang

Rumah Betang Djaga Bahen merupakan hasil renovasi dari Rumah Betang, karena sifat perubahannya adalah penambahan maka pembagian ruang dari rumah ini tidak terlalu berbeda dengan Rumah Betang asli. Sisi Timur yang merupakan bagian depan dari rumah ini adalah zona publik dimana terdapat Ruang Tamu. Ruang Los menjadi ruang keluarga dan bersifat semi publik, sedangkan kamar-kamar yang sifatnya privat diletakan setelah ruang semi publik tersebut. Bagian servis dari bangunan diletakan di samping dan belakang bangunan dan mempunyai perbedaan elevasi (Gambar 3.5).





Gambar 3.5 Denah Rumah Betang Djaga Bahen

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Berdasarkan variabel-variabel di atas maka diperlukan data-data untuk penelitian ini. Data-data tersebut diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

#### 1. Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan dengan observasi pada subjek penelitian. Data-data untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data ukuran bangunan.
- Data kondisi fisik berupa foto fasad dan interior ruangan
- Data iklim mikro

#### 2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data penunjang yang didapatkan dari sumber-sumber tertentu tanpa melibatkan observasi. Data sekunder yang dibutuhkan adalah sebagai berikut;

- Data iklim makro 5 tahun terakhir
- Studi literature ruangan dan penghawaan

Berdasarkan dari kedua jenis data diatas dapat dibedakan teknik pengumpulan data, seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabel Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

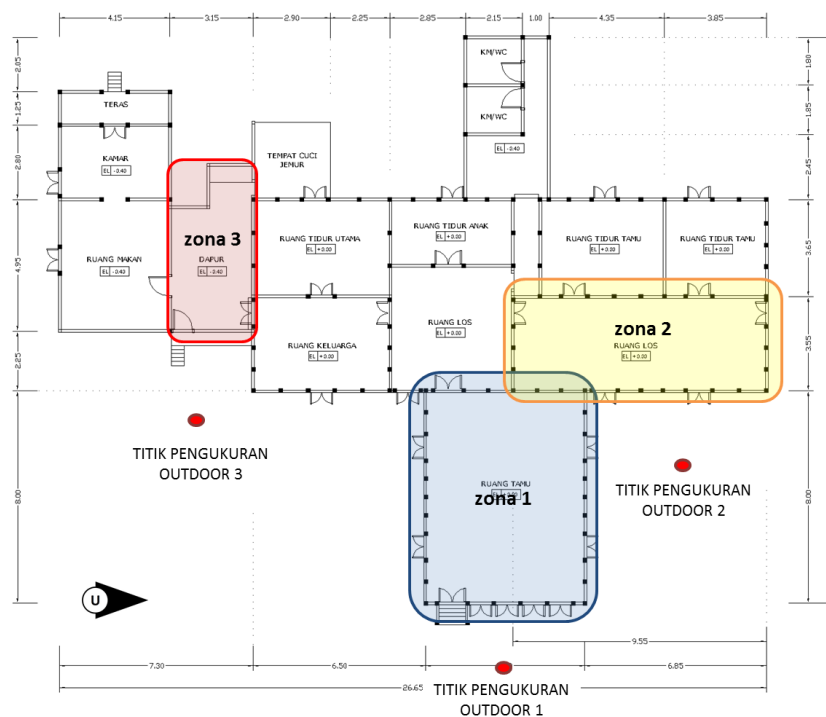
DATA PRIMER	DEFINISI OPERASIONAL	TEKNIK PENGUMPULAN	ALAT
Ukuran bangunan	Panjang Bangunan	Pengukuran Studi Lapangan	Meteran, alat ukur
	Lebar Bangunan		
	Tinggi Bangunan		
Kondisi Fisik	Foto Eksterior	Pengamatan Studi Lapangan	Kamera
	Foto Interior		
Iklim mikro	Kecepatan dan Arah Angin	Pengukuran	Anemometer, Humidity meter, Weather station
	Kelembaban		
	Temperatur		
DATA SEKUNDER	DEFINISI OPERASIONAL	TEKNIK PENGUMPULAN	ALAT
Iklim Makro	Kecepatan dan Arah Angin	BMKG	BMKG
	Kelembaban		
	Temperatur		
Studi Penghawaan	Window to wall Ratio	Studi Literatur	Sumber literatur
	Kenyamanan Termal		

### 3.5.1 Survei Lapangan

Prosedur pengamatan dan pengukuran lapangan yang dirancang pada penelitian ini antara lain:

- Pengukuran kecepatan angin, kelembaban dan temperatur  
Pengukuran dilakukan di bulan Juli yang menjadi bulan terpanas. Pengukuran kecepatan angin, kelembaban dan temperatur baik didalam ruangan dan di luar bangunan dilakukan selama 24 jam dengan rentang per 1 jam baik di luar dan dalam bangunan.
- Pada penelitian ini dipilih beberapa ruangan untuk mewakili pengukuran pada Rumah Betang Djaga Bahen. Beberapa ruang dipilih karena memiliki *inlet* dan *outlet* yang langsung berhubungan dengan ruang luar dan terdapat

banyak aktivitas komunal pada ruang tersebut. Ruangan-ruangan tersebut antara lain adalah Ruang Tamu, ruang Los, dan dapur (Gambar 3.6 dan 3.8). Untuk melihat pergerakan angin di dalam ruang, ruangan dibagi menjadi beberapa zona pengukuran dan diukur 3 jam semenjak jendela dibuka hingga ditutup, yaitu pukul 6.00, 9.00, 12.00 dan 15.00. Pengukuran dilakukan menggunakan anemometer untuk didalam ruang dan *weather station* untuk luar ruangan.



Gambar 3.6 Titik pengukuran di dalam dan luar rumah

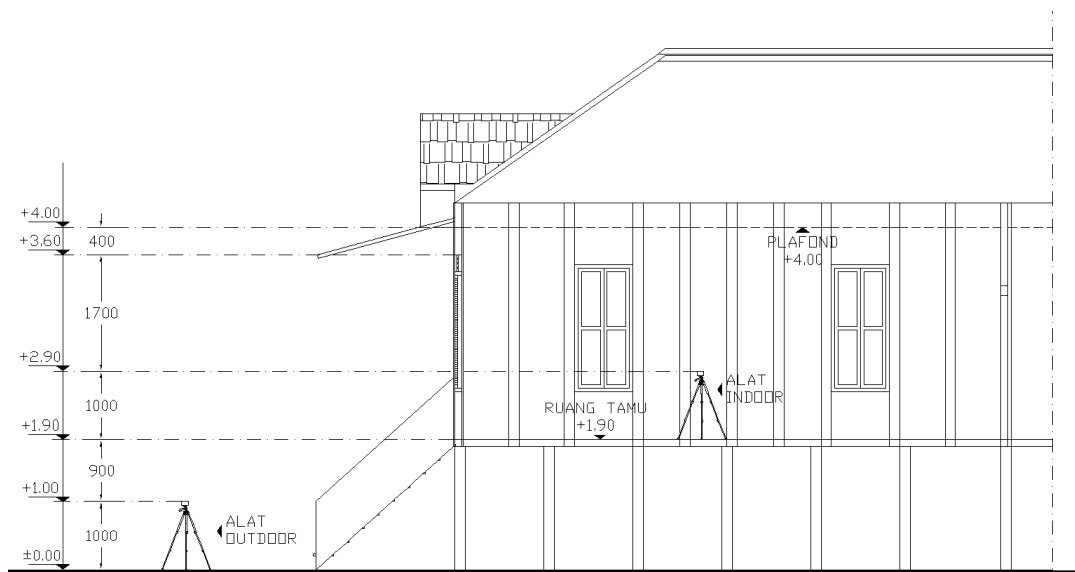
- Pengukuran ruang  
Pengukuran dilakukan untuk mendapat besaran ruang, yaitu panjang, lebar, dan tinggi. Pengukuran juga dilakukan untuk mendapat besaran bukaan baik itu pintu maupun jendela
- Identifikasi elemen penyekat ruang  
Hal ini diperlukan untuk mengetahui konfigurasi ruang dan pemakaian material pada ruang tersebut.
- Titik pengambilan data

Pemilihan ruang didasarkan pada keberadaan *inlet* dan *outlet* pada ruangan ang sama tanpa dibatasi sekat antar ruang. Ruang yang diukur adalah ruang publik pada rumah tersebut didasarkan pada perizinan penggunaan ruang di dalam rumah.

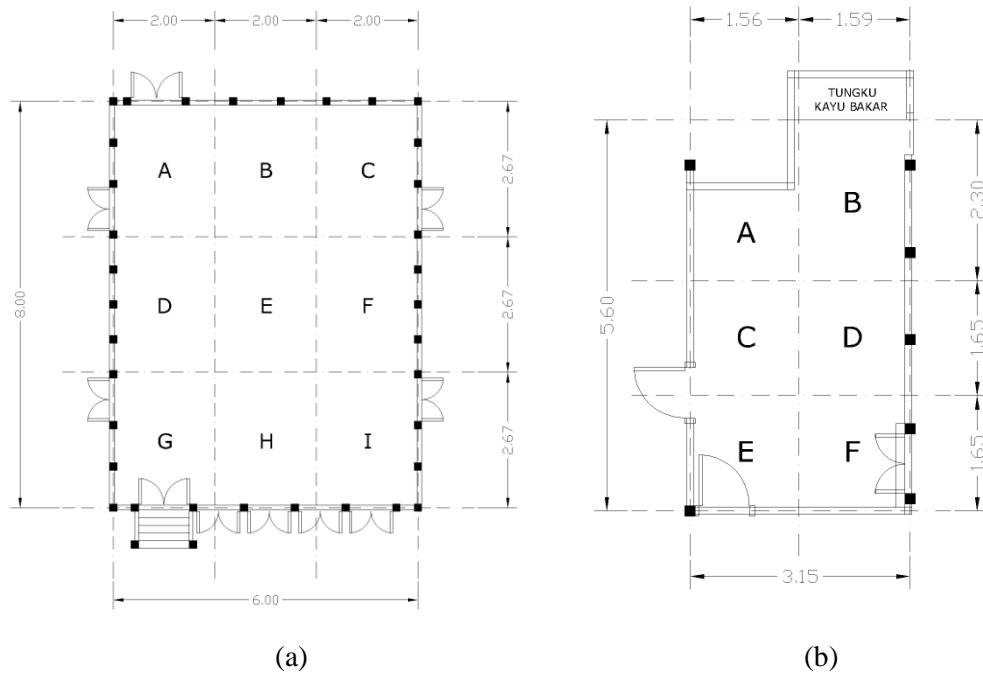
Titik pengukuran di dalam ruangan diletakan pada posisi 100cm (Gambar 3.7). Ketinggian ini didasarkan pada studi Mediastika (2002) bahwa angin diperlukan di sekitar posisi aktivitas manusia (duduk atau berdiri), sedangkan untuk luar ruangan diletakan di kawasan terbuka sehingga tidak terhalang apapun.

- Aktivitas penghuni

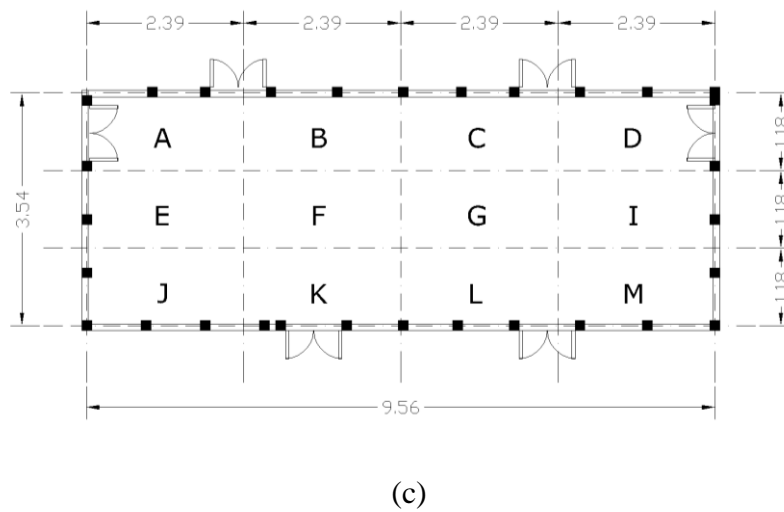
Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui aktivitas dan penggunaan ruang. Pengamatan berupa wawancara, catatan ataupun foto. Hal ini diperlukan untuk mengetahui aktivitas penghuni, apakah kinerja penghawaan dan kenyamanan termal telah terpenuhi pada ruang tersebut.



Gambar 3.7 Gambar potongan letak pemasangan alat



Gambar 3.8 Pembagian zona dalam ruang untuk pengukuran, (a) Ruang Tamu dan (b) Dapur



Gambar 3.9 Pembagian zona dalam ruang untuk pengukuran (c) Ruang Los

### 3.6 Rancangan Eksperimen

Pada penelitian ini akan digunakan eksperimen dengan bantuan simulasi. Eksperimen ini dilakukan untuk melihat hubungan antara perubahan konfigurasi ruang dan bukaan terhadap kecepatan angin di dalam ruang. Berikut ini sebagai jabarannya;

### 3.6.1 Hubungan Penelitian Lapangan dan Simulasi

Simulasi dilakukan untuk memenuhi dua tujuan, yaitu untuk verifikasi data hasil pengukuran terhadap hasil simulasi, dan untuk melakukan perubahan/eksperimen terhadap bangunan secara komputasi.

### 3.6.2 Tahapan eksperimen dengan bantuan simulasi

Simulasi dilakukan untuk memodelkan kondisi sebenarnya, baik bangunan maupun lingkungannya. Dengan melakukan simulasi, eksperimen dapat dilakukan tanpa melakukan perubahan langsung pada bangunan, tetapi perubahan sesuai variabel dapat dilakukan dengan bantuan komputasi. Simulasi ini akan dibagi dalam beberapa tahap;

- Tipe eksperimen

Tipe eksperimen yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Givoni dkk dalam Groat dan Wang (2002) dimana prosesnya memperhatikan 3 hal (Gambar 3.9) yakni; 1) *random assignment* tidak secara eksplisit diperhatikan, karena penelitian berhubungan dengan fisik bangunan; 2) membuat *basecase* berbentuk 3 dimensi berdasarkan kajian literatur dan pengamatan lapangan dengan menggunakan *software*; 3) membuat beberapa perlakuan atau variasi berbentuk 3 dimensi dengan menggunakan *software*, selain membuat *base case*; 4) melakukan pengujian terhadap semua model variasi dan *base case*.

- Model Eksperimen

Pemodelan dilakukan dengan Autodesk AutoCAD 2014 secara 3 dimensi. Model ini didasarkan pada pengukuran lapangan dan diujikan dalam *software* ANSYS 16.2 dengan data pengukuran lapangan mengenai mikroklimatik sebagai verifikasi data awal.

Simplifikasi (penyederhanaan bentuk model) dilakukan pada penelitian ini menyesuaikan dengan keterbatasan dari *software*. Penyederhanaan yang dilakukan adalah dengan menghilangkan vegetasi dan bangunan sekitar di luar bangunan dan porositas pada dinding dan lantai bangunan. Bangunan tetap dibuat sebagai rumah panggung sesuai dengan kondisi asli bangunan, hanya dengan tiang penyangga yang mewakili.

Perubahan yang dilakukan pada model bangunan disesuaikan dengan konfigurasi ruang asli pada periode-periode tersebut. Perubahan bukaan yang terjadi diakibatkan oleh penambahan ataupun pengurangan ruang selama periode tersebut, sehingga diasumsikan besaran bukaan jendela maupun pintu akibat perubahan ruang dianggap sama.

- Rancangan Eksperimen

Pada penelitian ini eksperimen dibagi kedalam beberapa poin yang berbeda-beda. Eksperimen 1 membahas adaptasi bangunan terhadap iklim atau kecepatan angin pada tahun tertentu. Eksperimen 2 membandingkan model-model yang sama dengan eksperimen 1 tetapi dengan *input* angin yang sama untuk membandingkan pengaruh desain terhadap kecepatan angin. Eksperimen 3 dan 4 membahas mengenai penggunaan *Rumbak Tahansengan*, eksperimen 3 membandingkan pengaruh bukaan *Rumbak Tahansengan* pada bangunan asli tahun 1933 sedangkan eksperimen 4 membahas penggunaan *Rumbak Tahansengan* pada bangunan masa kini. Klasifikasi dan model eksperimen tersebut dijelaskan pada Tabel 3.3 – 3.5.

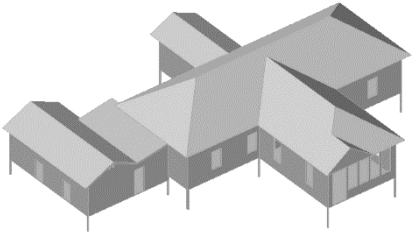
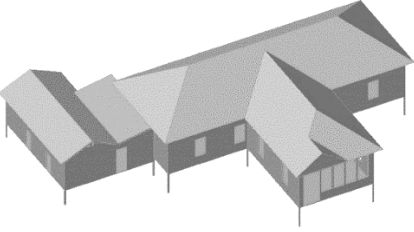
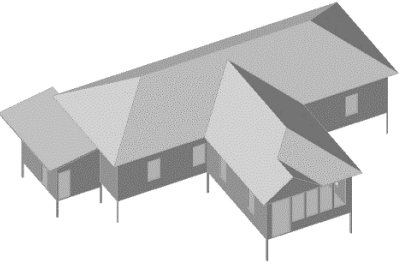
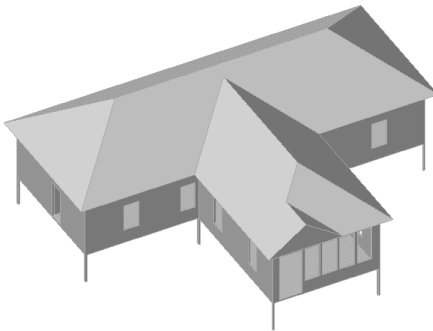
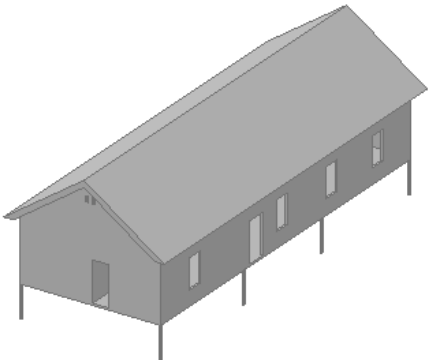
Tabel 3.3 Klasifikasi Eksperimen

Model	Keterangan	Eksperimen			
		1	2	3	4
A	Model bangunan sesuai kondisi saat ini	√	√		√
B	Model bangunan tahun 1991	√	√		
C	Model bangunan tahun 1983	√	√		
D	Model bangunan tahun 1938	√	√		
E	Model bangunan tahun 1933	√	√	√	
F	Model bangunan tahun 1933 (E) tanpa bukaan <i>Rumbak Tahansengan</i>			√	
G	Model bangunan A dengan aplikasi atap pelana dan <i>Rumbak Tahansengan</i>				√
Kecepatan angin :		F	K	K	K

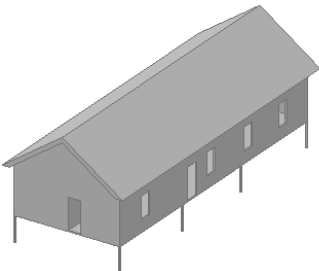
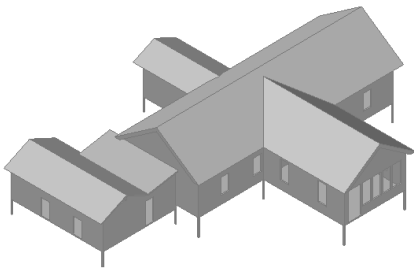
F = fluktuatif sesuai kecepatan angin periode tersebut

K = konstan (menggunakan kecepatan masa kini/model A)

Tabel 3.4 Rancangan model simulasi terhadap penambahan ruang

	PERIO DE	KETERANGAN	TOTAL WWR	3D MODEL
<b>A</b>	2014	Bangunan eksisting saat ini	10,9 %	
<b>B</b>	1991	Tidak terdapat kamar mandi di bagian belakang rumah	11,85 %	
<b>C</b>	1983	Tidak terdapat dapur 2 di sisi bangunan	13,72 %	
<b>D</b>	1938	Dapur terpisah dari rumah utama	14,60 %	
<b>E</b>	1933	Tidak terdapat Ruang Tamu	9,52 %	



	PERIO DE	KETERANGAN	TOTAL WWR	3D MODEL
<b>F</b>	1933	Terhadap model E, model ini tidak memiliki <i>Rumbak Tahansengan</i>	9,62 %	
<b>G</b>	2014	Terhadap model A, bangunan ini menggunakan atap pelana, tanpa plafon, dan terdapat <i>Rumbak Tahansengan</i>	10,18 %	

Tabel 3.5 Detail perubahan pada rancangan simulasi

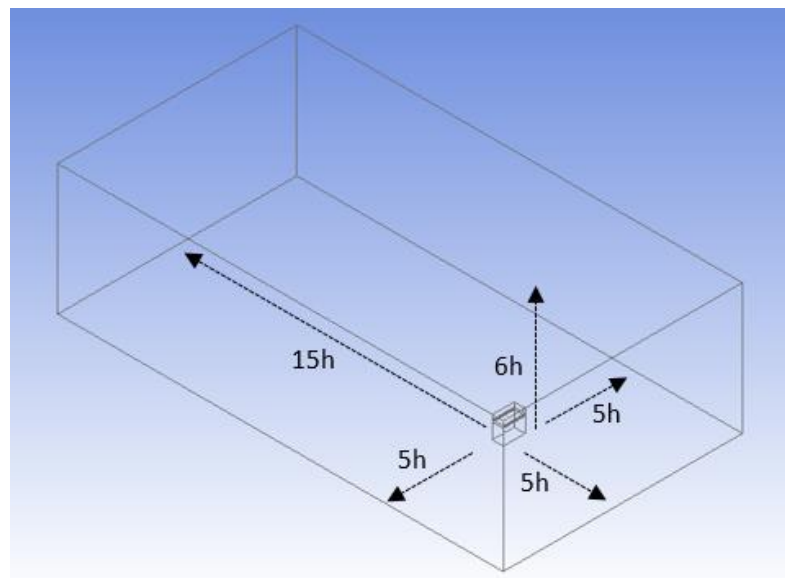
Model	Tahun	Deskripsi Perubahan			
		Penambahan	Atap	Plafon	<i>Rumbak Tahansengan</i>
A	2014	Kamar mandi/ Kondisi eksisting saat ini	Perisai	√	×
B	1991	Ruang makan & dapur 2	Perisai	√	×
C	1983	Ruang makan & dapur, ruang cuci	Perisai	√	×
D	1938	Ruang Tamu	Perisai	√	×
E	1933	Rumah asli	Pelana	×	√
F	1933	Membandingkan rumah asli tanpa <i>Rumbak Tahansengan</i>	Pelana	×	×
G	2014	Membandingkan kondisi saat ini dengan <i>Rumbak Tahansengan</i>	Pelana	×	√

### 3.6.3 Tahapan pada program *software* ANSYS 16.2

Penelitian ini menggunakan *software* CFD (Computational Fluid Dynamics) ANSYS 16.2, hal ini mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rakhmawati (2016), Muhammad (2016), Shetabivash (2015) dan Peren (2015). Rakhmawati (2016) dan Muhammad (2016) menggunakan ANSYS sebagai alat evaluasi kinerja penghawaan pada bangunan, sedangkan Shetabivash (2015) dan Peren (2015) menggunakannya untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel bebas seperti posisi bukaan dan kemiringan atap terhadap kecepatan angin. Dalam menggunakan *software* CFD ada tiga tahapan yang harus dilakukan diantaranya;

- *Preprocessing*

Modeling pertama kali dilakukan dengan Autodesk Autocad 2014 secara 3 dimensional. Hal selanjutnya yang dilakukan pada tahap ini adalah menentukan domain bangunan. Domain menjadi lingkungan bangunan, dimana jarak minimal domain ke bangunan untuk sisi *leeward* sebesar 15 kali tinggi, pada sisi *windward* dan sisi samping sebesar 5 kali tinggi, dan ketinggian domain sebesar 6 kali tinggi (Franke, 2007).



Gambar 3.10 Rekomendasi domain

Pada tahap ini dilakukan penyederhanaan model geometri bangunan dan detail-detail yang tidak berpengaruh terhadap hasil simulasi, *obstruction* berupa pohon dianggap tidak ada.

- *Meshing*

*Meshing* merupakan tahap dimana model 3D Autocad diimpor kedalam ANSYS 16.2. Proses ini untuk menentukan kualitas geometri bangunan. Dimana sesuai dengan ANSYS *User's Guide*, tipe yang adalah digunakan adalah *proximity*, dengan *relevance centre* berkualitas *fine*, *smoothing* berkualitas *high*, kualitas minimum orthogonal sebesar 0.01, maksimum *aspect ratio* 34.8 dan *skewness* maksimal 0.95

- *Solving*

*Solving* merupakan tahap untuk pemilihan model perhitungan. Perhitungan *viscosity* dilakukan dengan menggunakan rumus k- epsilon model RNG untuk mensimulasikan turbulensi (Sarkar dan Mandal, 2008), *near wall treated* menggunakan *enhanced wall treated* yang dipengaruhi *pressure gradient*.

*Boundary layer* ditetapkan untuk menentukan kecepatan angin pada bidang *inlet* dan memilih tipe *outlet*. Kecepatan angin pada *inlet* didapatkan dari data lapangan, sedangkan *outlet* dengan model *outflow*.

*Solution method* menggunakan standard dengan setting *default*. Tahap akhir dari proses ini adalah menetapkan nilai iterasi yang dibutuhkan. Iterasi adalah jumlah pengulangan perhitungan yang dilakukan *software* agar didapatkan hasil *converged*.

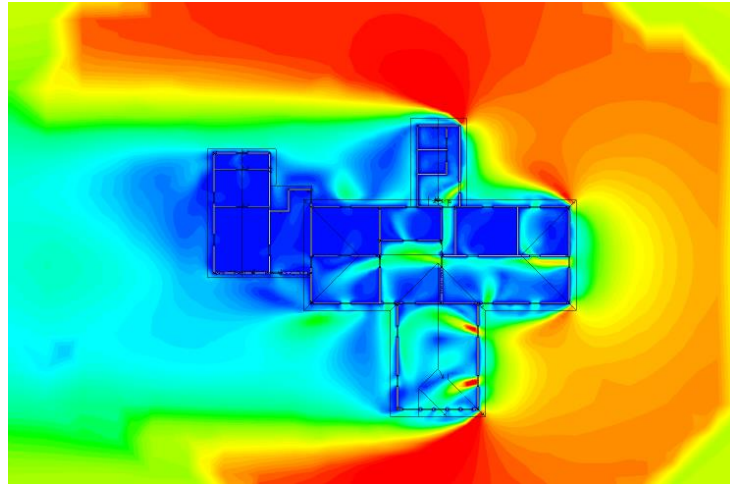
- *Postprocessing*

Tahap ini merupakan tahap untuk mendapatkan hasil dari simulasi, hasil dari simulasi ini dapat berupa Gambar dan angka.

Penyajian *postprocessing* berupa Gambaran penyebaran angin dapat dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu *countour*, *streamline*, dan *vector*.

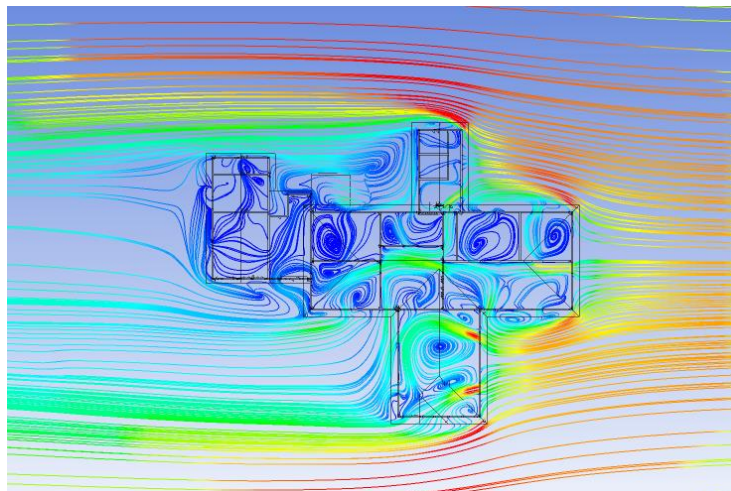
Gambar 3.11 merupakan hasil *postprocessing countour*. Kontur menghasilkan Gambaran kecepatan angin di dalam ruang tanpa

memperlihatkan arah maupun aliran angin. Peta kontur ini memberikan warna berbeda di setiap rentang kecepatan angin sesuai kebutuhan dari penelitian.



Gambar 3.11 Hasil *postprocessing countour*

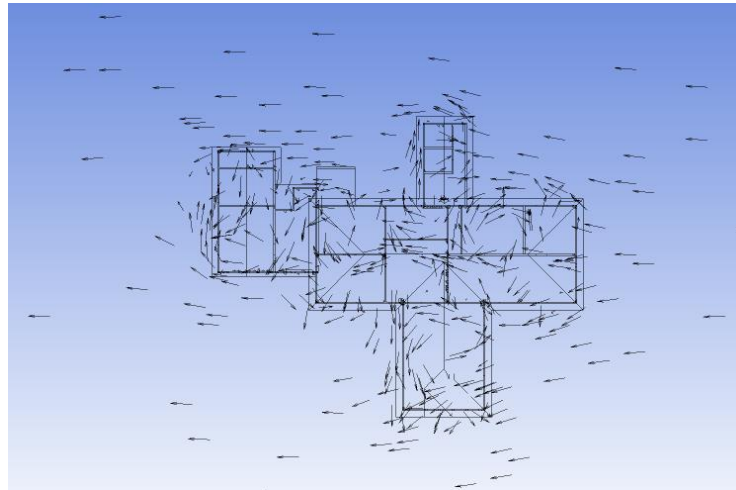
*Streamline* adalah garis yang menggambarkan aliran angin. *Streamline* dapat menunjukkan aliran angin dari luar masuk ke dalam ruang dan juga *eddy* yang terjadi. Garis streamlie tersebut dapat dibuat satu warna ataupun dibuat mempunyai kontur warna sesuai kecepatan angin seperti Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Hasil *postprocessing streamline*

Gambar 3.13 menunjukkan penggunaan *vector*. *Vector* memperlihatkan anak panah yang menunjukkan arah angin. *Vector* digunakan untuk menentukan

bukaan mana yang menjadi *inlet* ataupun *outlet*. *Vector* juga dapat diwarnai sesuai dengan kecepatan angin seperti *streamline*, tetapi karena ukurannya terlalu kecil akan sulit untuk membedakannya.



Gambar 3.13 Hasil *postprocessing vector*

Pada penelitian ini *postprocessing* menggunakan hasil *streamline*, karena dibandingkan 2 hasil simulasi lainnya, *streamline* dapat menunjukkan aliran dan kecepatan angin sekaligus. Hal ini dapat membantu pada saat verifikasi hasil lapangan dan simulasi. *Countour* dan *vector* juga digunakan secara tidak langsung untuk melihat rata-rata kecepatan angin dan menentukan *inlet outlet* di tiap ruang di dalam bangunan.

### 3.7 Analisis Hasil Penelitian

Penelitian ini menganalisis penghawaan alami dari segi nyaman dan kesehatan. Kenyamanan dianalisis dengan kecepatan angin minimum yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan *vc* (*velocity comfort*). Segi kesehatan dianalisis berdasarkan hasil perhitungan *ACH* (*Air Change per Hour*).

Pada penelitian ini analisis dibagi menjadi dua kelompok yaitu;

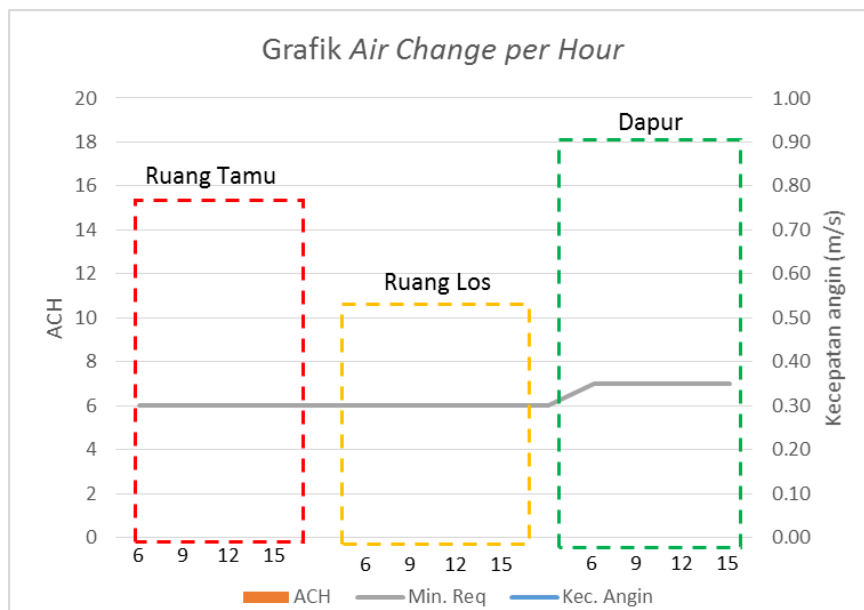
#### **Analisis Hasil Lapangan**

Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui dan memperjelas permasalahan dari Rumah Betang Djaga Bahen. Data yang dianalisis berupa data iklim

makro dari BMKG, data iklim mikro hasil pengukuran lapangan, kinerja dimensi opening dalam memasukan angin ke dalam ruangan. Hasil data dapat dilihat sesuai dengan rancangan pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.14.

Tabel 3.6 Rancangan Tabel data pengukuran di dalam ruang.

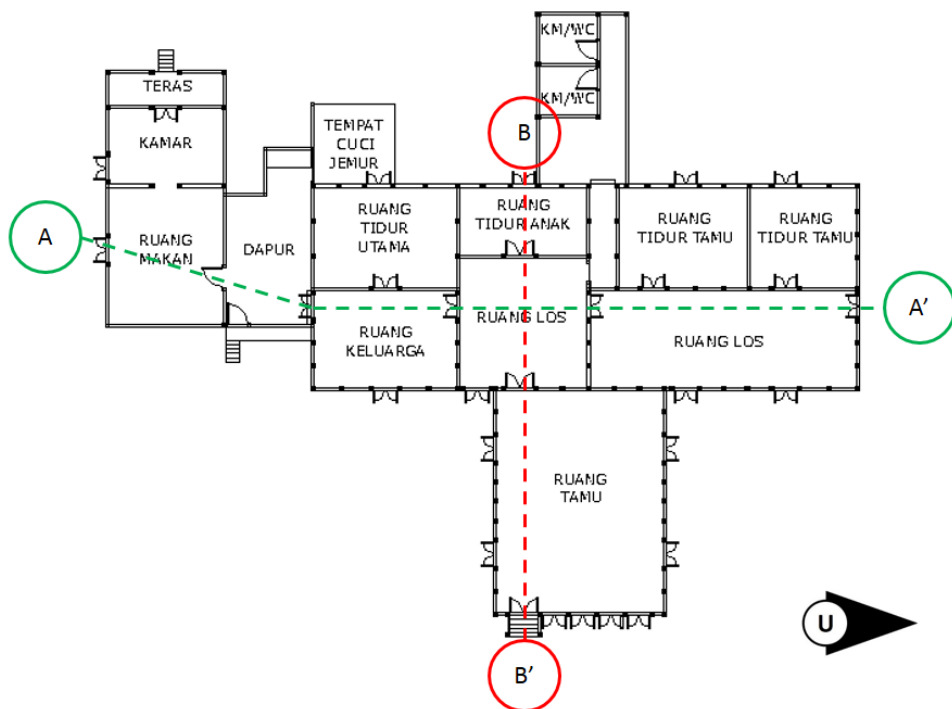
Hari / Tanggal	Jam	Kecepatan Angin (average) dalam m/s					
		A	B	C	D	E	F
Hari 1	06.00						
	09.00						
	12.00						
	15.00						
	18.00	jendela ditutup					
Hari 2	06.00						
	09.00						
	12.00						
	15.00						
	18.00	jendela ditutup					
Hari 3	06.00						
	09.00						
	12.00						
	15.00						
	18.00	jendela ditutup					



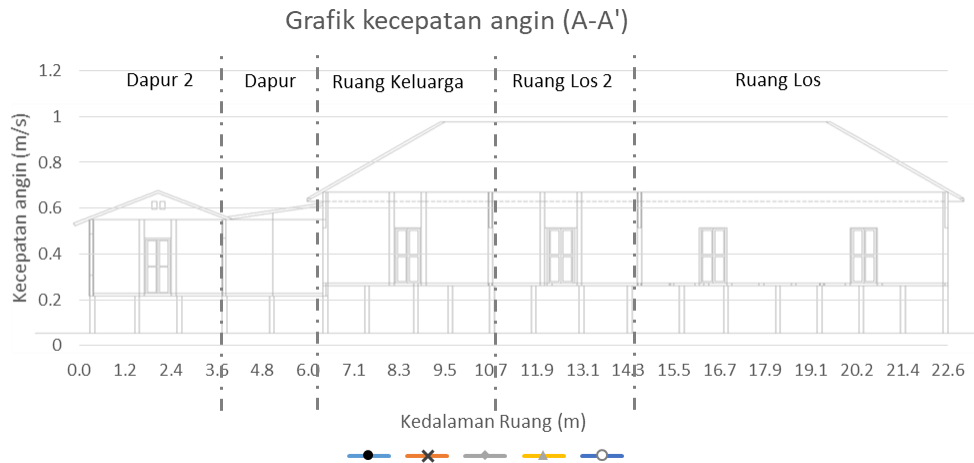
Gambar 3.14 Rancangan grafik ACH pengukuran lapangan

### Analisis Hasil Simulasi

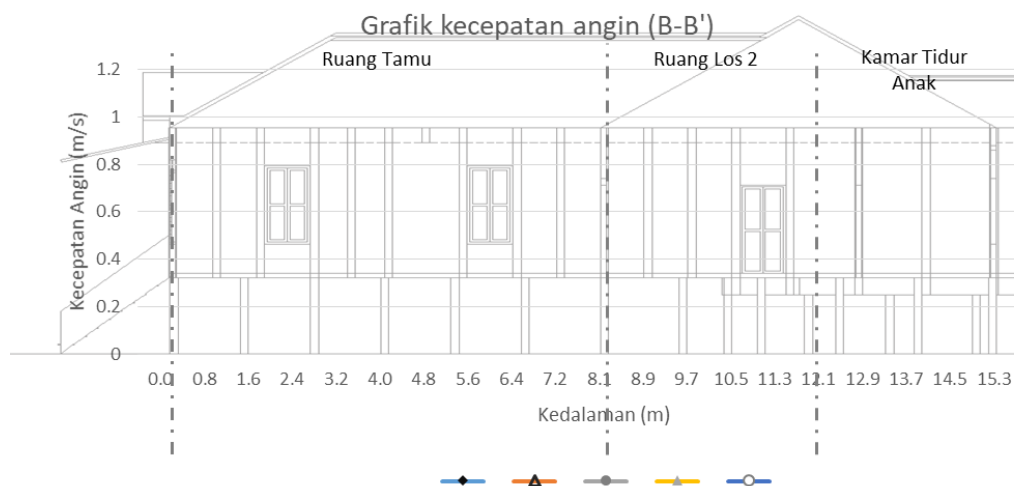
Analisis ini pertama adalah untuk verifikasi model bangunan terhadap kondisi asli bangunan dalam hal termal dan penghawaan, dan yang kedua adalah untuk mengetahui hubungan-hubungan antar variabel terikat dan variabel bebas seperti konfigurasi denah dan bukaan. Untuk melihat kecepatan angin pada hasil simulasi, maka dibuat garis potong yang menghubungkan dari bukaan satu ke bukaan lainnya. Pada penelitian ini dilakukan 2 potongan pada setiap modelnya, yang pertama adalah potongan melintang untuk melihat *inlet to outlet*, dan yang kedua adalah potongan membujur yang menghubungkan bukaan-bukaan pada ruang luar, baik sebagai *inlet* maupun *outlet*. Gambar 3.15 menunjukkan letak garis potong pada denah bangunan, sementara Gambar 3.16 dan Gambar 3.17 menunjukkan rancangan grafik kecepatan angin pada potongan A-A' dan potongan B-B'.



Gambar 3.15 Garis potong pengambilan kecepatan angin simulasi



Gambar 3.16 Rancangan grafik kecepatan angin terhadap perubahan ruang (A-A')



Gambar 3.17 Rancangan grafik kecepatan angin terhadap perubahan ruang (B-B')

### 3.8 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

#### Tahapan pertama; identifikasi masalah

Pada tahap ini penelitian awal dilakukan untuk mengidentifikasi masalah yang ada pada objek kasus. Identifikasi dilakukan untuk merumuskan tujuan, batasan dan manfaat penelitian.



### **Tahapan kedua; studi literatur**

Tahapan ini dilakukan guna mempelajari secara keseluruhan mengenai penghawaan pada iklim tropis lembab dan menspesifikannya sesuai kebutuhan yang didapat dari identifikasi tahap pertama. Tahapan ini dilakukan dengan mencari informasi mengenai teori-teori yang digunakan. Tahapan ini diperlukan untuk dapat mengetahui variabel dari penelitian.

### **Tahapan ketiga; pengumpulan dan identifikasi data**

Tahapan ini adalah mengumpulkan data lapangan, melalui survei, observasi, pengukuran dll. Data yang telah dikumpulkan diidentifikasi sesuai dalam variabelnya masing-masing dan digabungkan dengan data dari tahapan kedua untuk tahapan selanjutnya.

### **Tahapan keempat; simulasi**

Pada tahap ini data hasil literatur dan data lapangan diolah baik dalam bentuk perhitungan maupun simulasi. Tahapan ini dimulai dengan mereplika bangunan subjek dengan *software* Autodesk Autocad 2014, kemudian menyimulasikannya berdasarkan data pengukuran dalam *software* ANSYS 16.2.

### **Tahapan kelima; analisis awal**

Tahapan ini merupakan hasil dari perhitungan dan simulasi. Semua hasil terkait dikembalikan pada tujuan dan permasalahan awal, dan disesuaikan dengan variabel-variabel yang telah diputuskan sebelumnya.

### **Tahapan keenam; kesimpulan dan rekomendasi**

Setelah verifikasi pada tahap kelima, tahap ini memberikan kesimpulan dan saran.

## **BAB 4**

### **HASIL PENGAMATAN LAPANGAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengamatan Lapangan**

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengamatan, antara lain adalah kondisi fisik bangunan, aktivitas penghuni dan kondisi lingkungan di sekitar bangunan.

##### **4.1.1 Lokasi Bangunan**

Bangunan yang menjadi subjek penelitian adalah Rumah Betang Djaga Bahen, rumah ini merupakan salah satu Rumah Betang yang berada di Kalimantan Tengah. Rumah Betang Djaga Bahen merupakan bangunan tunggal yang berada diantara bangunan rumah lain dengan kepadatan yang sedang. Lingkungan disekitar Rumah Betang Djaga Bahen sebagian besar berupa tanah lapang yang ditutupi oleh pepohonan dengan kepadatan tinggi. Rumah ini terletak di desa Bahu Palawa, Kecamatan Kahayan Tengah, Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Berlokasi di 1°57'26"LS dan 113°57'13"BT dengan ketinggian  $\pm 9$  m diatas permukaan laut, lokasi ini kurang lebih sekitar 35 km dari kota Palangkaraya. Hal ini yang menjadi dasar pengambilan data BMKG dari pengukuran daerah Palangkaraya.

Batas sisi Timur dari bangunan ini adalah jalan Palangkaraya – Kuala Kurun, sedangkan sisi Baratnya adalah Sungai Kahayan (Gambar 4.1). Baik di sisi Utara maupun Selatan, rumah ini berbatasan dengan rumah-rumah lainnya dengan kerapatan sedang. Topografi daerah Bahu Palawa, Kabupaten Pulang Pisau cenderung datar dengan elevasi hanya 0 – 8 derajat, kecuali di bagian Utara yang berupa perbukitan. Secara topografi, kejaringan bangunan dan ketinggian bangunannya, tingkat kekasaran permukaan pada lingkungan ini termasuk pada kelas *open/flat country*.



Gambar 4.1 Batas Barat Sungai Kahayan

#### 4.1.2 Deskripsi Kondisi Eksisting Bangunan

- Konstruksi bangunan

Rumah Djaga Bahen merupakan rumah panggung dengan ketinggian kolom kayu sekitar 1,9 meter. Keseluruhan rumah terbuat dari material kayu ulin dan kayu lokal lainnya. Orientasi bangunan menghadap sungai karena dahulu sebagai transportasi utama. Bagian atap rumah ini menggunakan atap sirap dengan penutupnya yaitu sirap/kulit kayu.

- Detail fasad bangunan

Lantai rumah ini terbuat dari papan-papan kayu yang disusun dengan kerapatan tertentu sehingga angin masih dapat masuk ke dalam ruangan tetapi binatang-binatang tidak dapat masuk melewati celah tersebut. Sayangnya, pada renovasi terakhir lantai papan kayu ini dilapisi oleh lantai vinyl sehingga mencegah angin masuk melalui celah antar papan kayu. Dinding rumah ini juga dibuat dengan papan kayu dengan susunan yang sangat rapat sehingga dapat menghalau angin masuk melalui celah kayu. Saat ini ruang atap telah ditutupi plafon yang menggunakan lembaran papan kayu dan dicat warna putih. Keseluruhan foto pengamatan dapat dilihat pada lampiran B dan C.

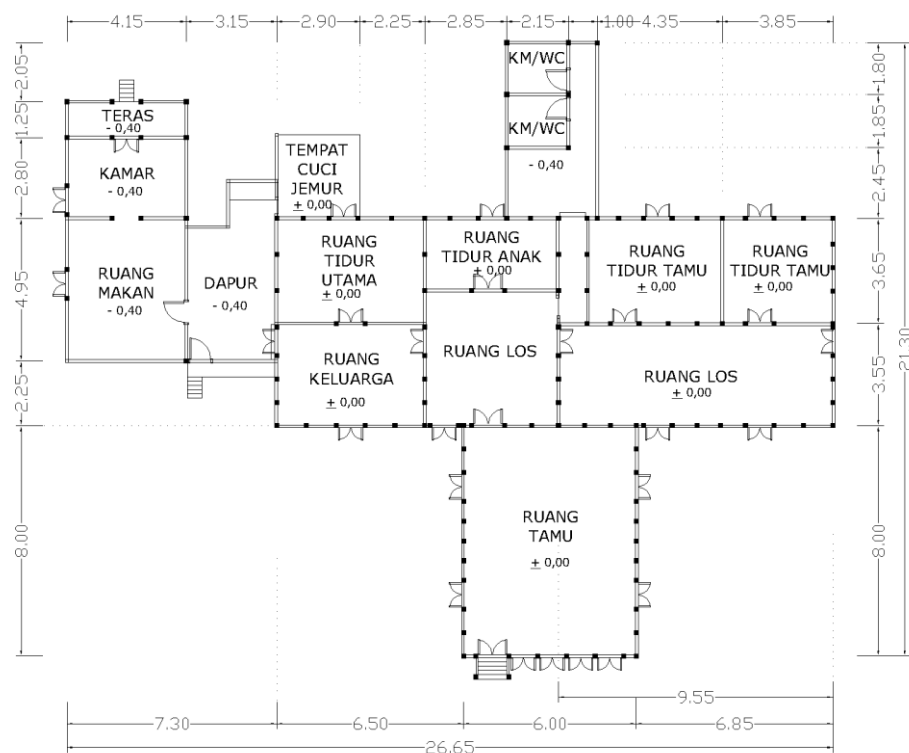
Tabel 4.1 Deskripsi Elemen Bangunan

<b>Elemen Bangunan</b>	<b>Jenis Material</b>	<b>Finishing</b>	<b>Gambar</b>
Dinding	Kayu	cat	
Kusen Pintu	Kayu	cat	
Kusen Jendela	Kayu	cat	
Daun Pintu	Kayu	cat	

Elemen Bangunan	Jenis Material	Finishing	Gambar
Daun Jendela	Kayu	cat	
Roster	Kayu	cat	
Plafon	Kayu	cat	
Lantai	Kayu	vinyl	
Atap	Kayu/sirap	-	

- Konfigurasi Denah

Dahulu hampir seluruh area rumah bersifat publik karena sifatnya sebagai rumah komunal untuk satu keluarga besar, hal ini karena suku Dayak menerapkan sistem kekerabatan yang sangat kuat (Asteria, 2008). Sehingga ruang-ruang di dalam rumah adalah milik bersama. Namun seiring perkembangannya terdapat penambahan Ruang Tamu yang sifatnya publik dan dibuat terbuka dengan jendela-jendela besar yang dapat mengekspos kegiatan yang di dalamnya. Area ruang keluarga pada rumah ini disebut Ruang Los, karena dahulu ruang ini merupakan lorong penghubung antar kamar di satu sisinya. Area kamar mandi, dapur dan ruang makan merupakan tambahan dengan ketinggian elevasi yang berbeda dengan bangunan utama.

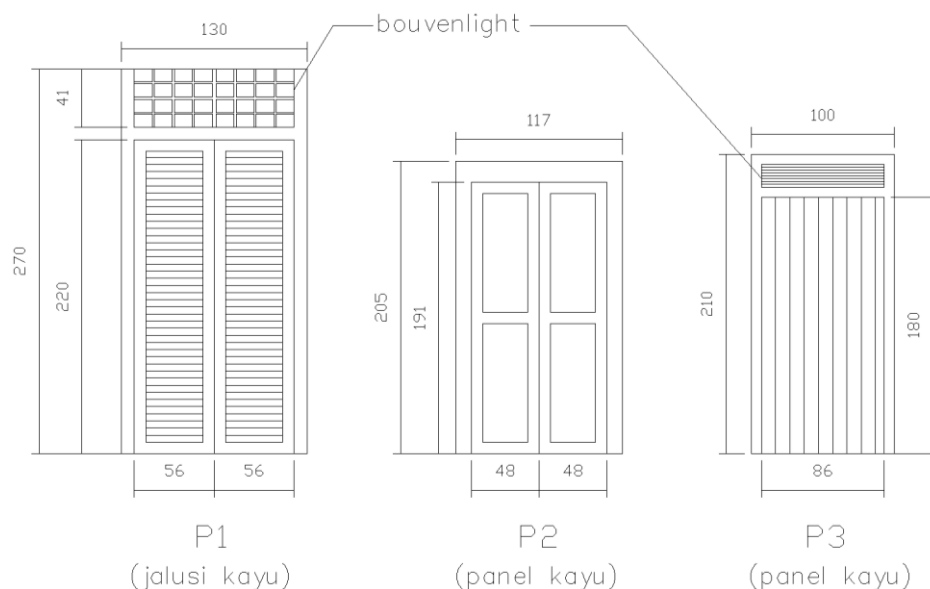


Gambar 4.2 Denah Konfigurasi Ruang

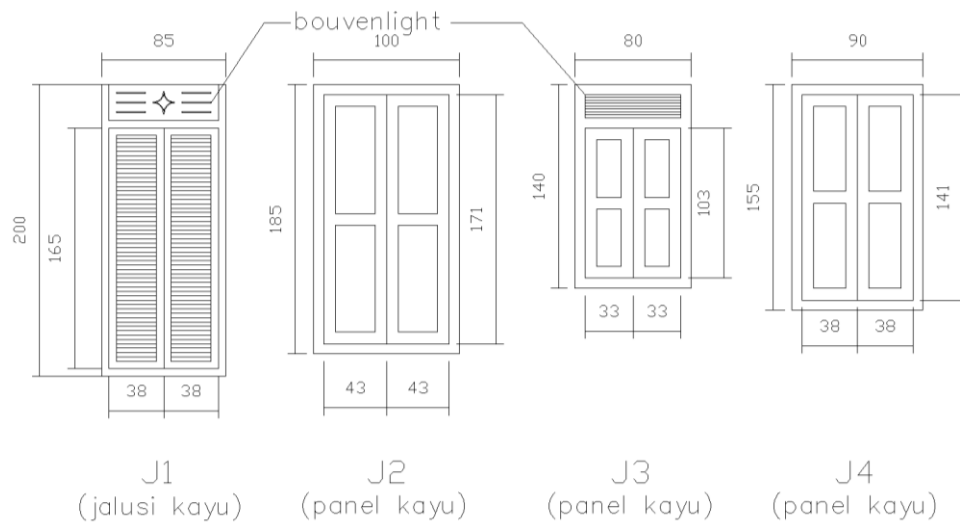
- Spesifikasi Bukaannya

Rumah Betang Djaga Bahen merupakan rumah panggung dengan bukaan yang cukup besar. Beberapa diantaranya merupakan bukaan berupa jendela dan pintu yang perlu dibuka-tutup, tetapi juga terdapat bukaan yang terus terbuka seperti *Rumbak Tahansengan*, roster, dan pori-pori pada lantai kayu. Bukaan-bukaan yang terus terbuka tersebut, memungkinkan terjadi *cross ventilation* dan *stack effect* antara pori di atap (*Rumbak Tahansengan*) dan pori-pori antara bilah kayu di lantai. Sayangnya, pori-pori di lantai kayu telah ditutup oleh lantai vinyl dan *Rumbak Tahansengan* tidak terlalu berfungsi karena pemasangan plafon.

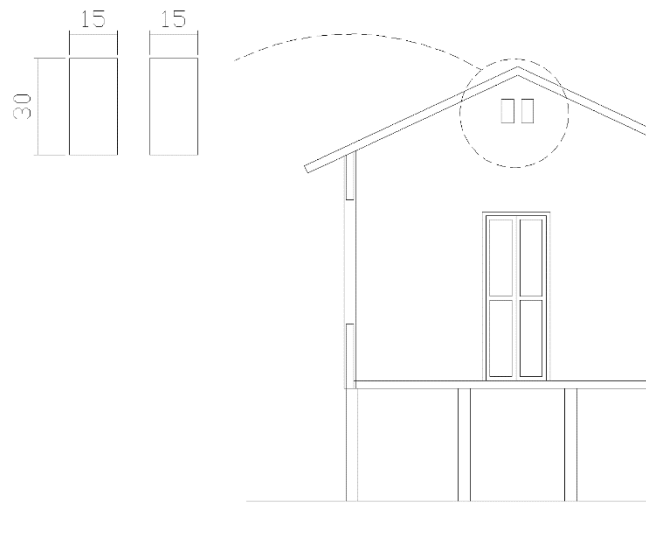
Bukaan yang dibiarkan terbuka (*bouvenlight* P1 dan P3 pada Gambar 4.3, *bouvenlight* J1 dan J3 pada Gambar 4.4, dan Gambar 4.5) memudahkan penetrasi angin memasuki bangunan tanpa perlu membuka tutup bukaan tersebut. Sedangkan bukaan seperti pintu dan jendela hanya dibuka di waktu-waktu tertentu sesuai dengan aktivitas.



Gambar 4.3 Detail Bukaan Pintu



Gambar 4.4 Detail Bukaan Jendela



Gambar 4.5 Detail *Rumbak Tahansengan*

Keseluruhan bukaan pada rumah ini cenderung dibiarkan terbuka dari pagi hingga menjelang malam (Tabel 4.2). Sama seperti di masa lalu ketika aktivitasnya masih tradisional, jendela dibuka hampir sepanjang hari dan baru ditutup ketika penghuni menjelang tidur, sedangkan roster dibiarkan terbuka sepanjang hari tanpa ditutup material solid. Begitu pula dengan pintu di dalam ruang yang dibiarkan terbuka untuk membantu penyebaran



udara alami antar ruang. Sedangkan pintu menuju luar dibuka tergantung dari pola aktivitas penghuni, umumnya dibuka pada pagi hingga sore hari dan ditutup ketika penghuni keluar rumah atau menjelang malam hari.

Tabel 4.2 Waktu Operasional Bukaannya

WAKTU OPERASIONAL BUKAAN																							
Jendela																							
pukul																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Pintu yang menghubungkan dengan luar rumah																							
pukul																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Pintu antara ruang di dalam rumah																							
pukul																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Roster																							
pukul																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Rumbak Tahansengan																							
pukul																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

(Sumber : wawancara dengan penghuni, Juli 2014)

Keterangan :  Bukaannya dalam kondisi terbuka  
 Bukaannya dalam kondisi tertutup

### 4.1.3 Pola Aktivitas Penghuni

Masyarakat di Rumah Betang Djaga Bahen kebanyakan melewati waktunya di luar rumah. Selain kegiatan rumah tangga saja yang dilakukan di dalam rumah, terdapat kegiatan keagamaan yang sering dilakukan. Kegiatan-kegiatan rumah tangga seperti memasak dan lainnya hanya dilakukan di ruang-ruang privat dan ruang servis, sedangkan kegiatan keagamaan hanya dilakukan di ruang publik dan semi publik seperti Ruang Tamu atau Ruang Los. Perubahan pola pekerjaan dari bercocok tanam berubah menjadi pekerja kantoran juga mengakibatkan perubahan pola aktivitas Rumah Betang Djaga Bahen. Beberapa pekerjaan saat ini

dapat dilakukan di dalam ruang pada siang dan sore hari, tidak seperti di masa lalu yang seluruhnya aktivitasnya pagi sampai malam hari.

Data lapangan menunjukan dimana saja kegiatan dilakukan di dalam rumah, pukul berapa dan durasinya (Tabel 4.3). Tiap ruang memiliki waktu aktivitas yang berbeda-beda tergantung dari fungsi ruangan. Pada kondisi tertentu seperti pada area dapur, aktivitas yang dilakukan tidak hanya kegiatan memasak, penghuni menggunakan area dapur untuk tempat bersosialisasi dengan masyarakat. Hal tersebut tidak berdasarkan pada fungsi ruang tetapi karena faktor kenyamanan fisiologis seperti kondisi penghawaan, pencahayaan atau termal.

Perbedaan aktivitas juga terjadi pada hari biasa dan akhir pekan. Pada hari-hari biasa penghuni melakukan aktivitas dalam rumah seperti biasa baik aktivitas didalam ruangan atau aktivitas diluar ruangan. Pada akhir pekan aktivitas lebih sering terjadi di dalam rumah, seperti di Ruang Keluarga/Los untuk berkumpul bersama dan aktivitas keagamaan lainnya.

Tabel 4.3 Pola Aktivitas Penghuni Rumah Betang Djaga Bahen

AKTIVITAS PENGHUNI																							
Ruang Tamu																							
weekdays																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
weekend																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ruang Keluarga/Los																							
weekdays																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
weekend																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ruang Tidur																							
weekdays																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
weekend																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Dapur																							
weekdays																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
weekend																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

(Sumber : wawancara dengan penghuni, Juli 2014)

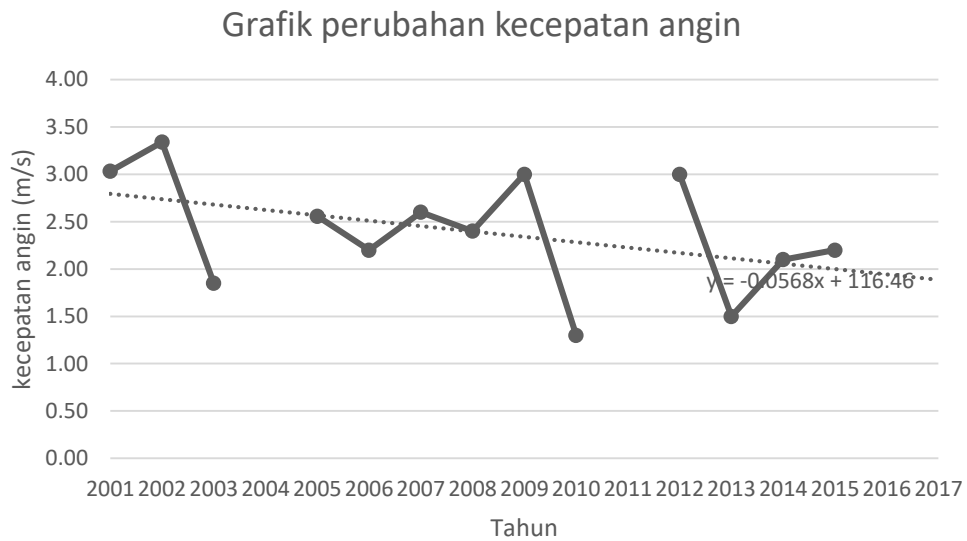
Keterangan :  Terdapat aktivitas  
 Tidak ada aktivitas

## 4.2 Pembahasan Hasil Pengamatan Lapangan

Pada sub-bab ini dibahas mengenai penghawaan alami yang terjadi pada lingkungan rumah dan sekitarnya, juga beberapa elemen yang berhubungan dengan iklim mikro setempat.

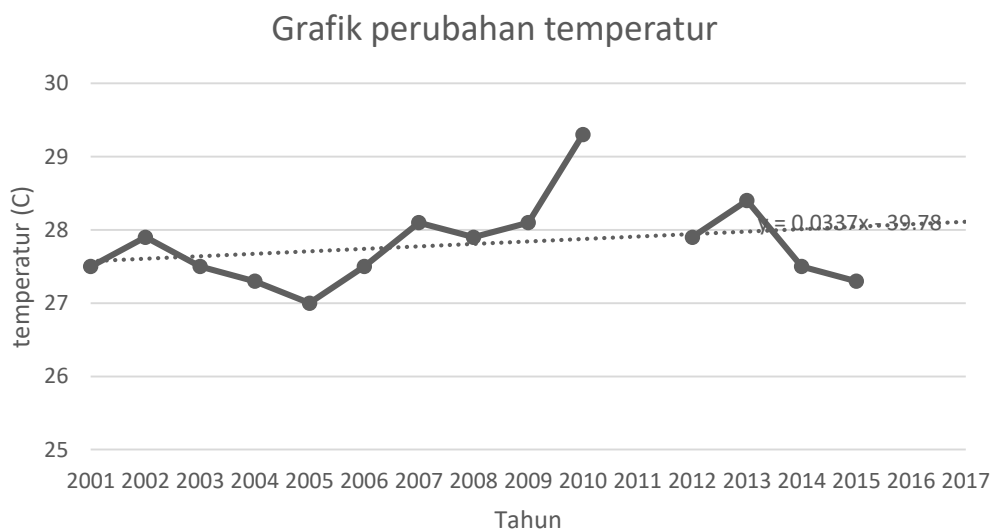
### 4.2.1 Analisis Data Iklim Makro

Analisis data iklim makro digunakan untuk mengetahui kondisi aliran udara yang terjadi di daerah terdekat dengan subjek penelitian. Data yang diperlukan adalah sebanyak mungkin data iklim pertahun yang bisa didapatkan, Hal ini untuk dapat melihat tren yang terjadi selama periode 1 tahun, apakah temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban meningkat atau justru menurun. Tren tersebut digunakan untuk dapat memperkirakan besaran nilai, baik temperatur, kelembaban dan kecepatan angin 80 tahun kebelakang sesuai dengan awal berdirinya Rumah Betang Djaga Bahen. Subjek penelitian Rumah Betang Djaga Bahen terletak di desa Bahu Palawa daerah ini mempunyai jarak terdekat dengan daerah pengukuran di Palangkaraya, tetapi karena keterbatasan data yang tersedia pada BMKG Palangkaraya, maka yang digunakan adalah data BPS Kalimantan Tengah dengan titik pengukuran di Tjilik Riwut yang merupakan bandar udara Palangkaraya. BPS Kalimantan Tengah mempunyai data iklim dari tahun 2001 sampai 2015 (lampiran A), walaupun terdapat beberapa data yang tidak tercatat.



Gambar 4.6 Grafik perubahan kecepatan angin (bps.go.id)

Gambar 4.6 merupakan perubahan kecepatan angin pertahun, dapat terlihat pada garis *trendline* (garis putus-putus) bahwa garis tersebut mempunyai kecenderungan naik ke arah tahun-tahun sebelumnya. Hal ini dapat diasumsikan bahwa di tahun-tahun sebelumnya obstruksi seperti bangunan-bangunan sekitar lebih jarang dibandingkan dengan saat ini, sehingga kecepatan angin cenderung lebih kencang daripada sekarang. Dengan adanya *trendline* ini kecepatan angin di tahun-tahun tertentu dapat diperkirakan sebagai *input* pada eksperimen.



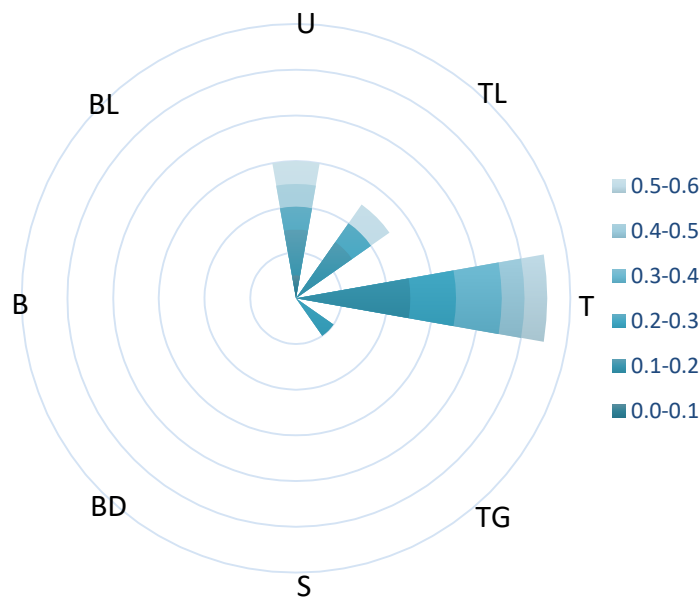
Gambar 4.7 Grafik perubahan temperatur (bps.go.id)

Berbanding terbalik dengan kecepatan angin yang mempunyai kecenderungan nilai yang lebih tinggi di masa lalu, temperatur udara mempunyai nilai yang lebih rendah di masa lalu dibandingkan saat ini. Hal ini dapat terlihat pada garis *trendline* pada Gambar 4.7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa temperatur udara kecenderungan turun ke arah tahun-tahun sebelumnya.

#### 4.2.2 Kondisi Iklim Mikro Lapangan

Pengukuran lapangan dilakukan pada tanggal 12 – 15 Juli 2014. Pengukuran ini mengukur temperatur, kelembaban, kecepatan dan arah angin, baik di dalam maupun di luar ruangan. Dari hasil pengukuran di luar ruangan (lampiran D dan E) didapatkan bahwa angin relatif berhembus dari arah Timur dengan kecepatan angin sekitar 0.1 – 0.6 m/s. Pada siang hari temperatur udara ada pada kisaran 28 – 30 °C dengan kelembaban 64 – 78 %, sedangkan pada malam hari ketika temperatur pada kisaran 22 – 24 °C kelembaban dapat mencapai angka diatas 97%.

Semakin tinggi nilai temperatur semakin rendah nilai kelembaban, begitu pula sebaliknya. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin siang, ketika matahari memuncak dan temperatur meningkat, kelembaban menurun. Sedangkan ketika malam hari ketika temperatur menurun, kelembaban meningkat.



Gambar 4.8 Grafik *windrose* data mikro pengukuran lapangan

#### 4.2.3 Perbandingan Kondisi Iklim Makro dan Mikro

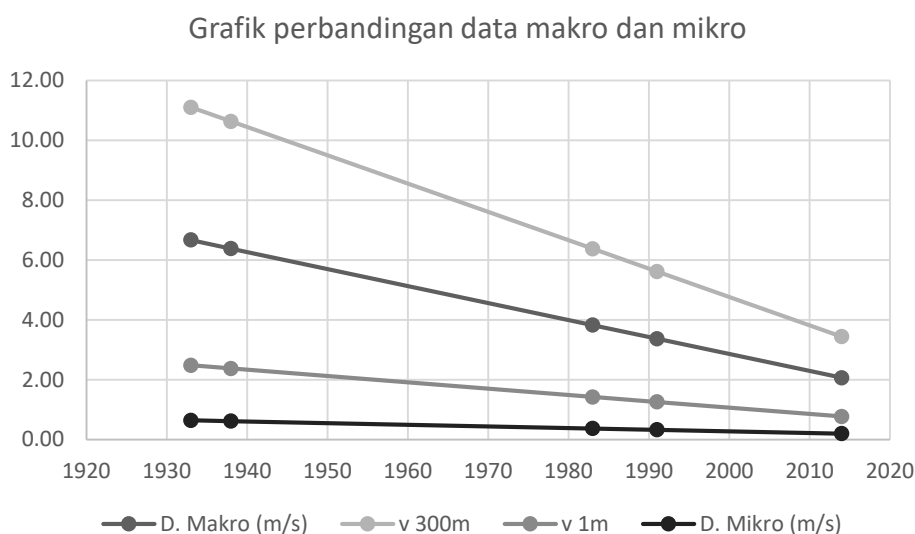
Kecepatan angin yang terjadi di BMKG merupakan kecepatan angin pada ketinggian 10 meter. Data tersebut harus dihitung kembali dengan mempertimbangkan perbedaan antara tinggi pengukuran dan ketinggian bangunan dan untuk memperhitungkan pengaruh pada kecepatan angin dari kekasaran permukaan yang mengganggu. Subjek penelitian terletak pada kawasan dengan karakteristik pinggiran kota dengan rata-rata ketinggian bangunan  $\pm 4$  meter dan ketinggian pengukuran  $\pm 1$  meter. Data yang dibandingkan adalah data iklim makro pada bulan pengukuran, yaitu bulan Juli, dan rata-rata kecepatan angin pada saat pengukuran lapangan.

Pada penelitian ini didapatkan data mikro di tahun-tahun tertentu berdasarkan perbandingan data makro dan data mikro pada tahun pengukuran yaitu tahun 2014. Perbandingan ini berdasarkan pada grafik *trendline* pada Gambar 4.6 dimana kecepatan angin meningkat di tahun-tahun lalu. Hal ini kemungkinan diakibatkan karena lebih sedikit penghalang seperti bangunan yang dapat mengurangi kecepatan angin.

Asumsi data makro pada tahun 1991, 1983, 1938, dan 1933 dapat diperkirakan dari grafik *trendline* pada Gambar 4.9. Besaran tersebut kemudian dihitung dengan *power law* untuk mendapatkan laju angin bebas hambatan pada ketinggian 300 m, kemudian dikonversi kembali pada ketinggian 1 meter sesuai dengan pengukuran luar ruangan. Hasil perhitungan pada tahun 2014 menunjukkan bahwa kecepatan angin pada data iklim makro yang telah dikonversi menjadi di ketinggian pengukuran adalah sebesar 0,77 m/s, sedangkan rata-rata hasil pengukuran adalah 0,2 m/s. Kecepatan angin hasil pengukuran mempunyai nilai yang lebih rendah dari data iklim makro BMKG, hal tersebut dipengaruhi oleh adanya penghalang baik berupa bangunan maupun pepohonan sehingga berpengaruh mengurangi kecepatan angin. Perbandingan konversi data BMKG pada ketinggian 1 meter dengan data pengukuran ini yang menjadi acuan perbandingan untuk perhitungan tahun-tahun sebelumnya. Hasil tersebut menjadi masukan data kecepatan angin untuk eksperimen pada bab berikutnya. Berikut ditampilkan perhitungan perkiraan data mikro pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan perkiraan data mikro tahun tertentu

Tahun	D. Makro (m/s)	v 300m	v 1m	D. Mikro (m/s)
2014	2.06	3.44	0.77	0.20
1991	3.37	5.62	1.26	0.33
1983	3.83	6.37	1.42	0.37
1938	6.38	10.63	2.38	0.62
1933	6.67	11.10	2.48	0.64



Gambar 4.9 Grafik perbandingan data makro dan mikro

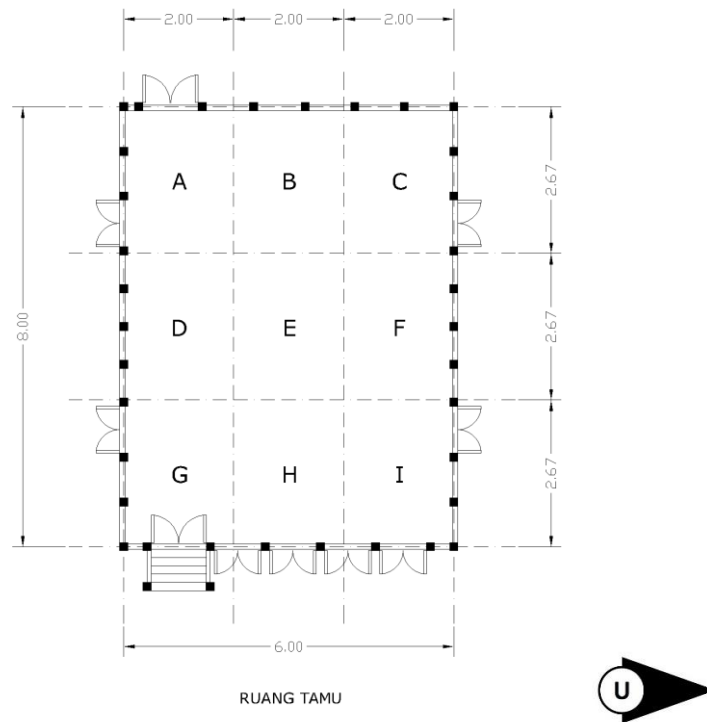
#### 4.2.4 Pergerakan Angin di dalam Rumah Betang Djaga Bahen

Berikut merupakan Gambaran hasil pengukuran lapangan pada tiga ruang dalam Rumah Betang Djaga Bahen. Gambaran hasil pengukuran berupa garis aliran angin (*streamline*) tiap 3 jam pengukuran.

- Ruang Tamu

Ruang Tamu dibagi menjadi 9 titik pengukuran untuk melihat arah dan kecepatan angin didalam ruang (Gambar 4.10). Ruangan ini mempunyai 3 dinding yang langsung berhubungan dengan ruang luar, dimana semua dinding tersebut memiliki bukaan yang cukup lebar. Bukaan yang sama dapat menjadi *inlet* maupun *outlet*, tergantung dari arah datangnya angin. Pada bagian depan Ruang Tamu terdapat 1 buah pintu dan 4 buah jendela dengan besar yang sama. Sisi depan ini

adalah sisi yang paling mungkin menjadi *inlet*, karena angin sebagian besar berhembus dari Timur. Pada dinding sisi Utara dan selatan terdapat 2 jendela di masing-masing sisinya dengan besaran yang sama.

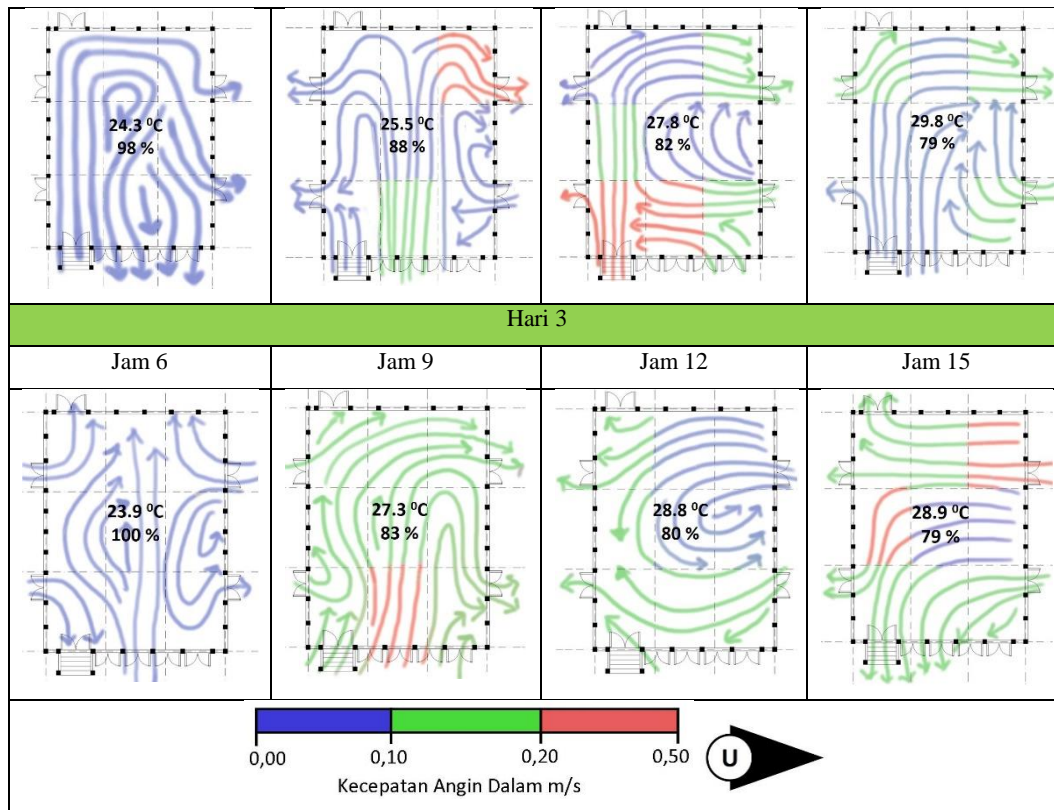


Gambar 4.10 Pembagian zona di Ruang Tamu

Tabel 4.5 Pergerakan angin di Ruang Tamu

Hari 1			
Jam 6	Jam 9	Jam 12	Jam 15
Hari 2			
Jam 6	Jam 9	Jam 12	Jam 15

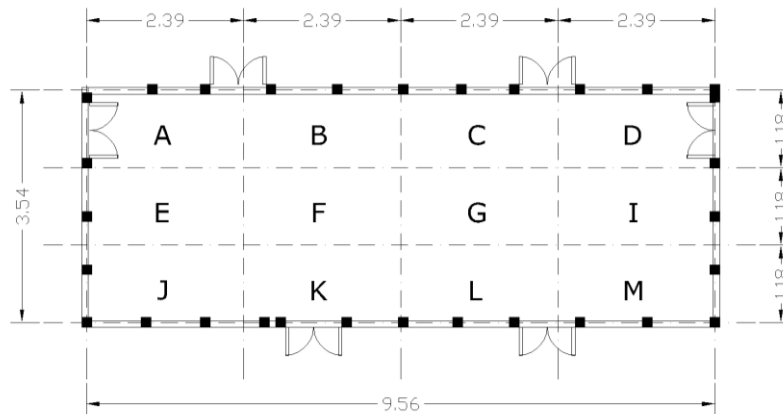




Tabel 4.5 menunjukkan pergerakan angin pada Ruang Tamu. Mayoritas angin datang dari bagian depan, yaitu sisi Timur bangunan, dan keluar ke arah sisi-sisi samping bangunan. Selain sisi Timur, angin juga dapat masuk ke dalam bangunan dari sisi Utara. Dilihat dari kecepatannya, di pagi hari pukul 6 kecepatan angin di dalam ruang masih rendah pada kisaran 0,0 – 0,1 m/s dan meningkat pada pukul 9, kemudian kecepatannya memuncak di pukul 12 lalu mereda pada pukul 15. Pada ruangan ini mayoritas pintu dan jendela pada sisi Timur menjadi *inlet*, sedangkan jendela-jendela pada sisi Utara dan selatan menjadi *outlet*.

- Ruang Los

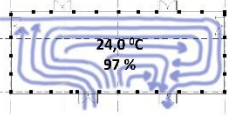
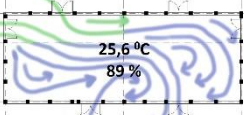
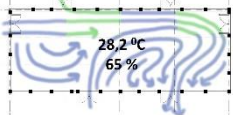
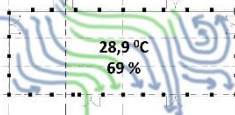
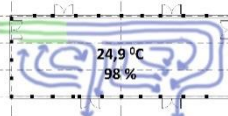
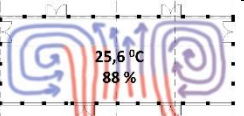
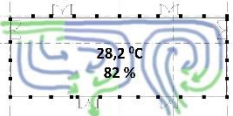
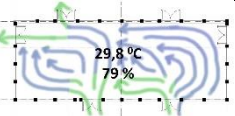
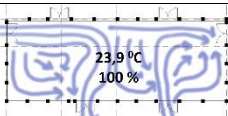
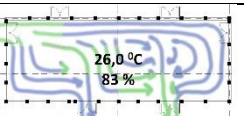
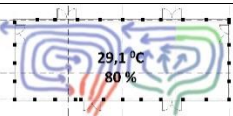
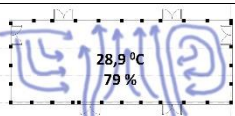
Ruang Los dibagi menjadi 12 titik pengukuran sesuai dengan luasannya (Gambar 4.11). Ruangan ini mempunyai 2 dinding yang langsung berhubungan dengan ruang luar. Utamanya bukaan pada ruangan ini hanya ada pada sisi Timur, dimana terdapat 2 buah jendela, sedangkan pada sisi Utara bukaan pada ruangan ini berupa pintu yang jarang dibuka oleh penghuninya. Sehingga *outlet* dan *inlet* berada pada satu sisi yang sama.



RUANG LOS

Gambar 4.11 Pembagian zona di Ruang Los

Tabel 4.6 Pergerakan angin di Ruang Los

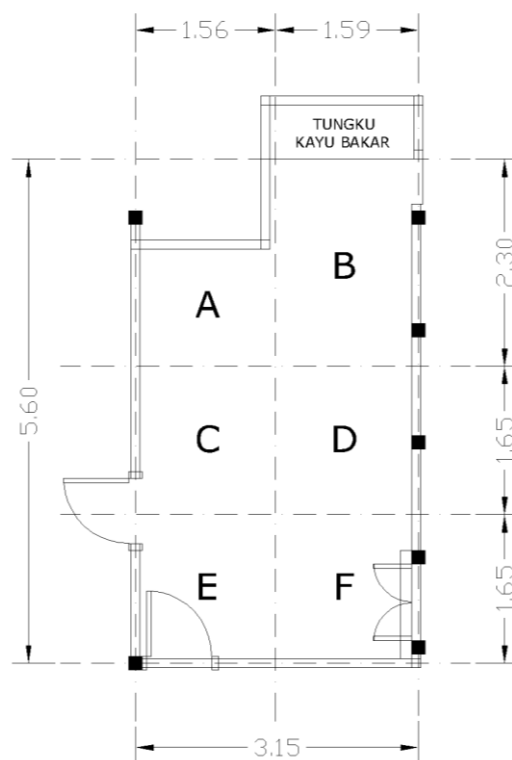
Hari 1			
Jam 6	Jam 9	Jam 12	Jam 15
			
Hari 2			
Jam 6	Jam 9	Jam 12	Jam 15
			
Hari 3			
Jam 6	Jam 9	Jam 12	Jam 15
			
<div><div><div></div><div></div><div></div></div><div>0,000,100,200,50</div><div>Kecepatan Angin Dalam m/s</div><div><div>U</div></div></div>			

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 bahwa pergantian udara dan kecepatan angin pada ruangan ini cenderung rendah. Hanya beberapa saat pada ruangan ini yang memiliki kecepatan angin lebih dari 0,2 m/s. Hal ini disebabkan bukaan hanya

terdapat di satu sisi bangunan, sehingga udara hanya berputar di dalam ruangan (*eddy*).

- Dapur

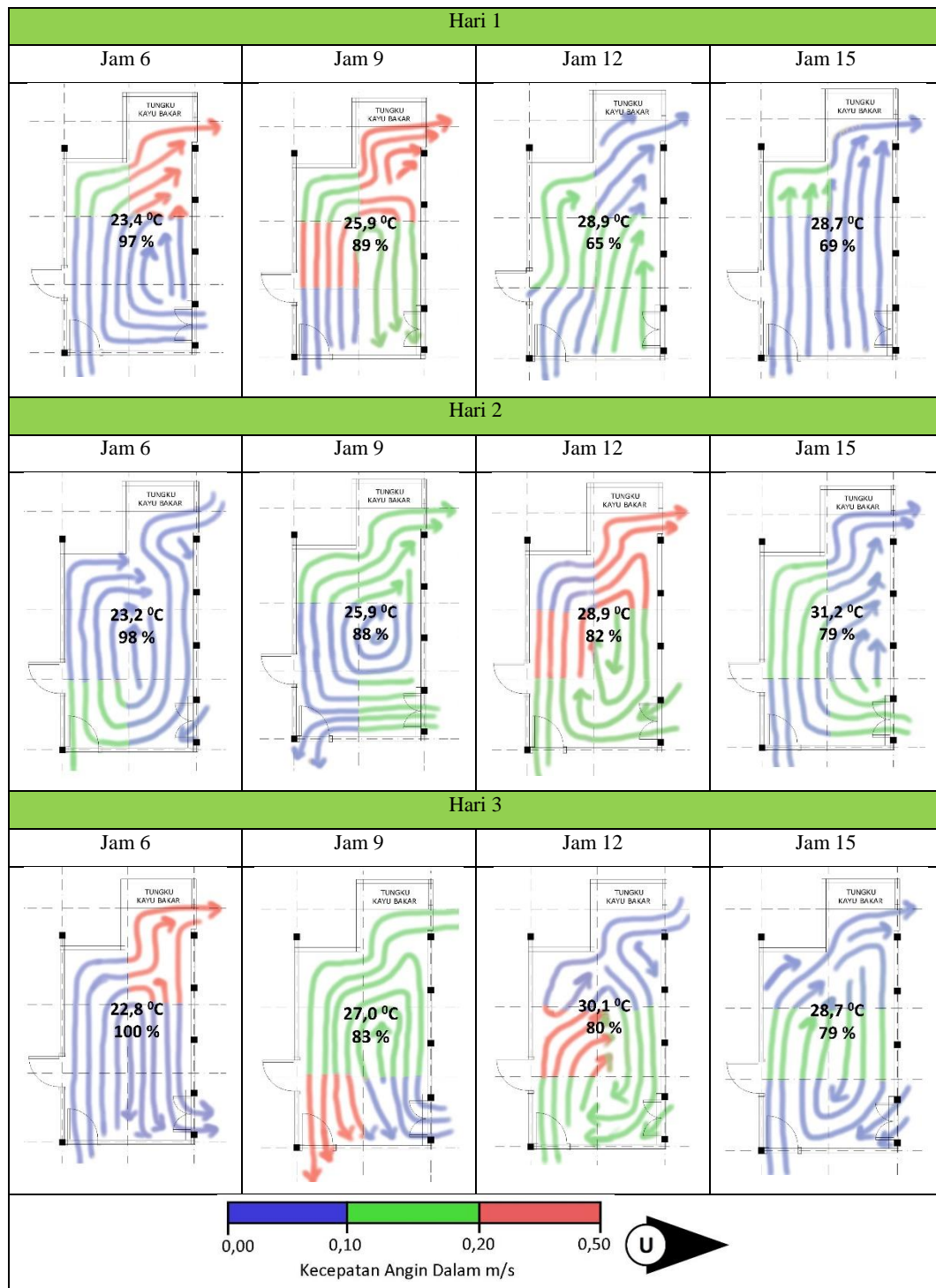
Dapur menjadi salah satu tempat berkumpul pada Rumah Betang Djaga Bahen. Hal ini kemungkinan karena aktivitas rumah tangga yang dimulai dari ruangan tersebut (memasak) dan ruangan tersebut cukup sejuk untuk dihuni. Dapur dibagi menjadi 6 titik pengukuran sesuai dengan luasannya (Gambar 4.12). Ruangan ini mempunyai bukaan pada sisi Timur dan Barat. Pada dinding depan (sisi Timur) bukaan yang ada adalah pintu yang hampir terus terbuka pada rentang waktu pagi sampai siang hari, sedangkan pada bagian belakang, terdapat lubang pintu (tanpa penutup) dimana digunakan sebagai penyimpanan dan tungku kayu bakar.



DAPUR

Gambar 4.12 Pembagian zona di dapur

Tabel 4.7 Pergerakan angin di dapur



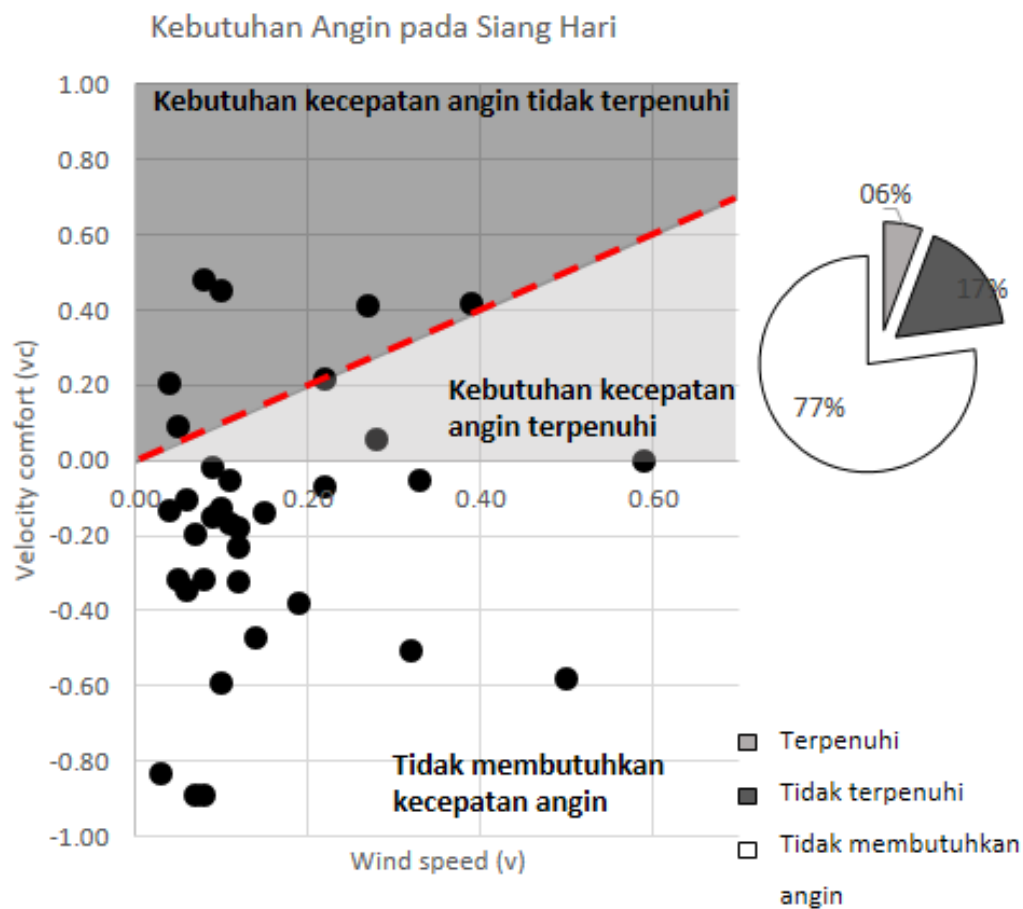
Pergerakan angin pada ruangan ini cenderung kencang dibandingkan dengan ruangan lainnya. Mayoritas aliran angin terjadi dari pintu depan mengarah

ke arah tungku kayu bakar di belakang, walaupun beberapa kali angin datang dari bagian belakang ruangan.

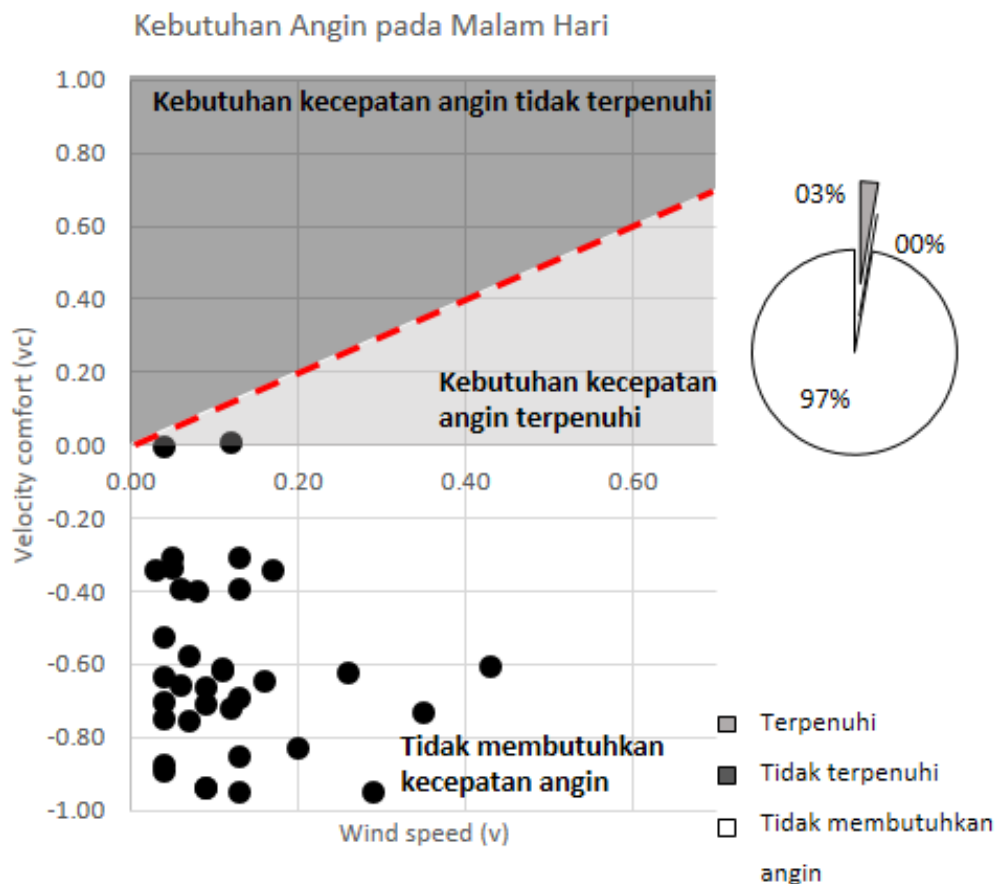
#### 4.2.5 Pembahasan Pergerakan Angin di dalam Rumah Betang Djaga Bahen

Sub-bab ini membahas pergerakan angin di dalam ruang yang telah ditunjukkan pada sub-bab sebelumnya. Pembahasan dibagi ke dalam 2 poin utama, yaitu faktor kenyamanan dan faktor kesehatan. Faktor kenyamanan dilihat berdasarkan kecepatan angin di dalam ruang tersebut apakah sesuai dengan *velocity comfort* (vc) atau kebutuhan kecepatan angin di dalam ruang, sedangkan dari segi kesehatan dilihat berdasarkan nilai *air change per hour* (ACH) dan dibandingkan dengan standar yang telah ditentukan oleh SNI.

- Faktor Kenyamanan



Gambar 4.13 Grafik kebutuhan angin di siang hari

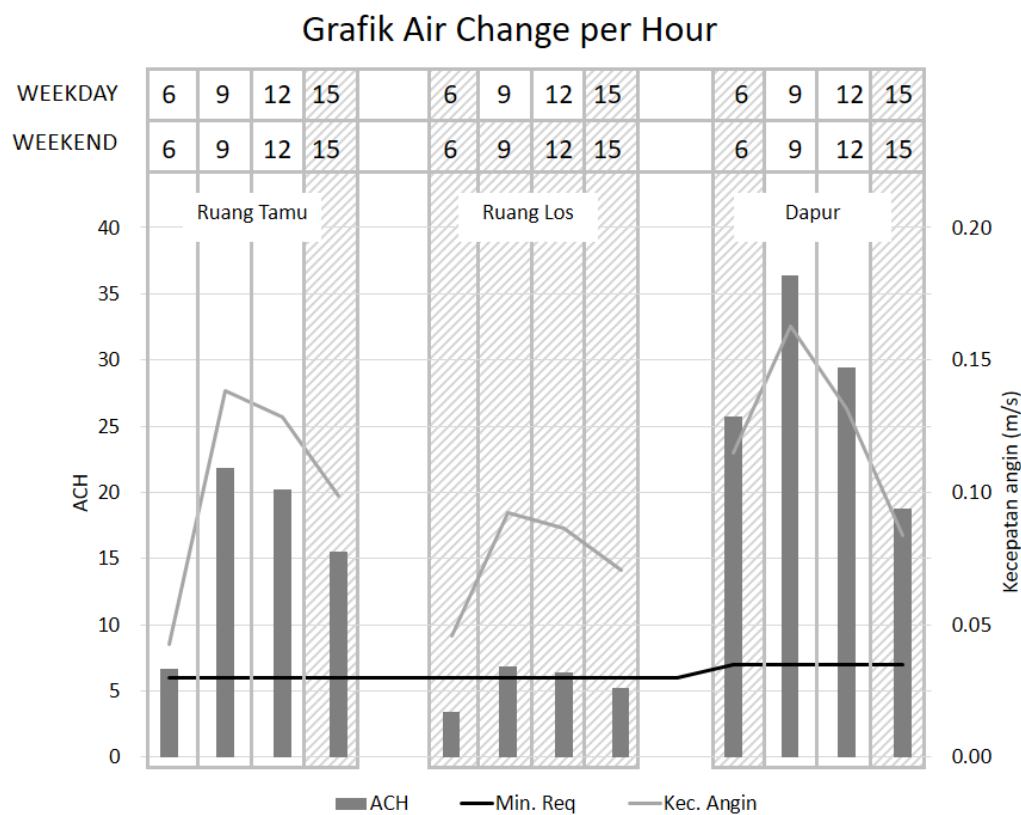


Gambar 4.14 Grafik kebutuhan angin di malam hari

Faktor kenyamanan akan dinilai berdasarkan *velocity comfort* (vc). Perhitungan vc dapat dilihat pada lampiran F. Hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam grafik persebaran dimana vc pada sumbu y dan kecepatan angin pada sumbu x. Dua gambar diatas (Gambar 4.13 dan 4.14) merupakan grafik yang menunjukkan persebaran kebutuhan kecepatan angin. Berdasarkan grafik tersebut Rumah Betang Djaga Bahen dapat dikatakan tergolong nyaman. Hampir 90% dari nilai vc adalah negatif, hal ini berarti untuk mencapai kenyamanan Rumah Betang Djaga Bahen tidak terlalu membutuhkan angin. Khusus untuk di malam hari rumah ini secara keseluruhan tidak memerlukan angin masuk ke dalam rumah, sedangkan di siang hari hanya sekitar 17% saja dimana angin di dalam ruangan tidak memenuhi kecepatan angin yang dibutuhkan (vc). Berdasarkan grafik di atas untuk memenuhi syarat kenyamanan pada siang hari, Rumah Betang Djaga Bahen hanya membutuhkan angin dengan kecepatan minimal 0,5 m/s.

- Faktor Kesehatan

Air Change per Hour atau ACH dipengaruhi oleh beberapa elemen bangunan seperti volume dan juga bukaan (*inlet* dan *outlet*). Jika ruangan yang dihitung nilai ACH sama, maka yang berpengaruh adalah kecepatan angin pada ruangan tersebut di waktu tertentu (Perhitungan ACH dapat dilihat pada lampiran G). Gambar 4.15 diatas menunjukan nilai ACH pada pukul 6.00, 9.00, 12.00 dan 15.00, dapat dilihat bahwa nilai ACH berbanding lurus dengan kecepatan angin di dalam ruang.



Gambar 4.15 Grafik Air Change per Hour pukul 6.00, 9.00, 12.00, dan 15.00

Secara keseluruhan hanya Ruang Los yang tidak memenuhi standar ACH yang ditentukan oleh SNI, sedangkan Ruang Tamu hanya pukul 6.00, ketika angin belum begitu kencang yang tidak memenuhi standar. Ruang Los yang menjadi ruang keluarga, mempunyai nilai ACH yang sangat rendah, hal ini karena *inlet* dan *outlet* ruangan tersebut berada di satu dinding yang sama sehingga angin lebih banyak berputar di dalam ruang (*eddy*) dibandingkan dengan mengalir keluar



ruangan. Hal ini sesuai dengan Omrani (2017), dimana terkait distribusi aliran udara dalam ruangan, *cross ventilation* menunjukkan kinerja 2-4 kali lebih baik dibandingkan dengan *single-sided ventilation*.

Ruangan lain mempunyai nilai ACH lebih baik karena keduanya mempunyai *inlet* dan *outlet* di dinding yang berbeda, Ruang Tamu memiliki *outlet* di dinding yang tegak lurus dengan dinding tempat bukaan *inlet*, sedangkan dapur memiliki *outlet* di dinding yang sejajar, sehingga angin dengan mudah masuk dan berganti di dalam ruang.

#### **4.3 Rangkuman Pengamatan Lapangan**

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan penelitian lapangan, didapatkan beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen dan terkait pengaruhnya terhadap penyejukan alami di dalam ruang. Hal-hal tersebut antara lain yaitu:

- Berdasarkan perhitungan *velocity comfort* (vc) baik di dalam ruang maupun di luar ruang hanya sekitar 17% di siang hari yang dapat dikatakan tidak nyaman karena kecepatan angin belum mencapai nilai vc atau 8,2% jika dihitung penuh satu hari. Pada siang hari tersebut untuk memenuhi syarat kenyamanan, Rumah Betang Djaga Bahen hanya membutuhkan angin dengan kecepatan sekitar 0,5 m/s, sedangkan malam hari hampir tidak membutuhkan kecepatan angin untuk pendinginan fisiologis karena temperatur udara dan MRT yang lebih rendah daripada siang hari. Hal ini sejalan dengan penelitian Samodra (2017) di mana pada siang hari membutuhkan kecepatan angin 0,8 m/s (dataran tinggi) sampai 1,5 m/s (dataran rendah), sedangkan malam hari tidak membutuhkan kecepatan angin sebagai pendinginan fisiologis.
- Secara keseluruhan Rumah Betang Djaga Bahen dapat dikatakan memenuhi nilai ACH sesuai standar SNI. Ruang Los menjadi ruangan dengan nilai ACH paling kecil dan beberapa di antaranya tidak memenuhi standar SNI. Hal ini karena *inlet* dan *outlet* ruangan tersebut berada di satu dinding yang sama, sesuai dengan Omrani dkk (2017) dimana terkait distribusi aliran udara dalam ruangan, *cross ventilation* menunjukkan kinerja 2-4 kali lebih baik dibandingkan dengan *single-sided ventilation*.



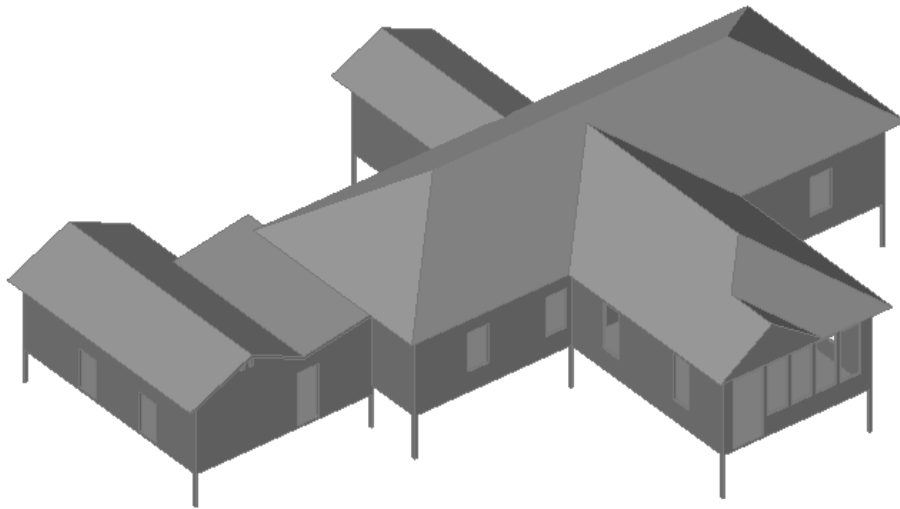
- Hanya Ruang Los yang tidak memenuhi nilai ACH sesuai standar SNI, hal ini karena *inlet* dan *outlet* nya berada di sisi dinding yang sama. Ruang Tamu secara keseluruhan memenuhi nilai ACH, hanya di jam 6 pagi ketika angin tidak terlalu kencang, nilai ACH nya tidak memenuhi standar.
- Kondisi kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen ini sekaligus menjawab pertanyaan penelitian yang pertama, bahwa kondisi di dalam Rumah Betang Djaga Bahen saat ini dapat tergolong nyaman. Setelah mengetahui kinerjanya saat ini, diteliti pula apakah konfigurasi ruang turut berperan dalam penghawaan alami.

## BAB 5

### HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Verifikasi Pengukuran Lapangan dan Simulasi

Verifikasi dilakukan untuk melihat kesesuaian antara hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi. Hal ini dilakukan agar model pada simulasi mendapatkan hasil yang sama atau mendekati. Pada verifikasi ini dibandingkan kecepatan serta pola arah angin pada ke tiga ruang di waktu yang bersamaan. Simulasi awal dilakukan tiga kali untuk melihat pola angin yang tercipta dari arah datang angin yang berbeda sesuai dengan grafik *windrose* pada bab sebelumnya, yaitu Utara dan Timur. Simulasi awal menggunakan *input* 0,57 m/s sesuai dengan nilai tertinggi pengukuran kecepatan angin di luar ruangan (lampiran D) dan rentang pada hasil pengukuran ruang angin di dalam ruang (Tabel 4.5 – 4.7).



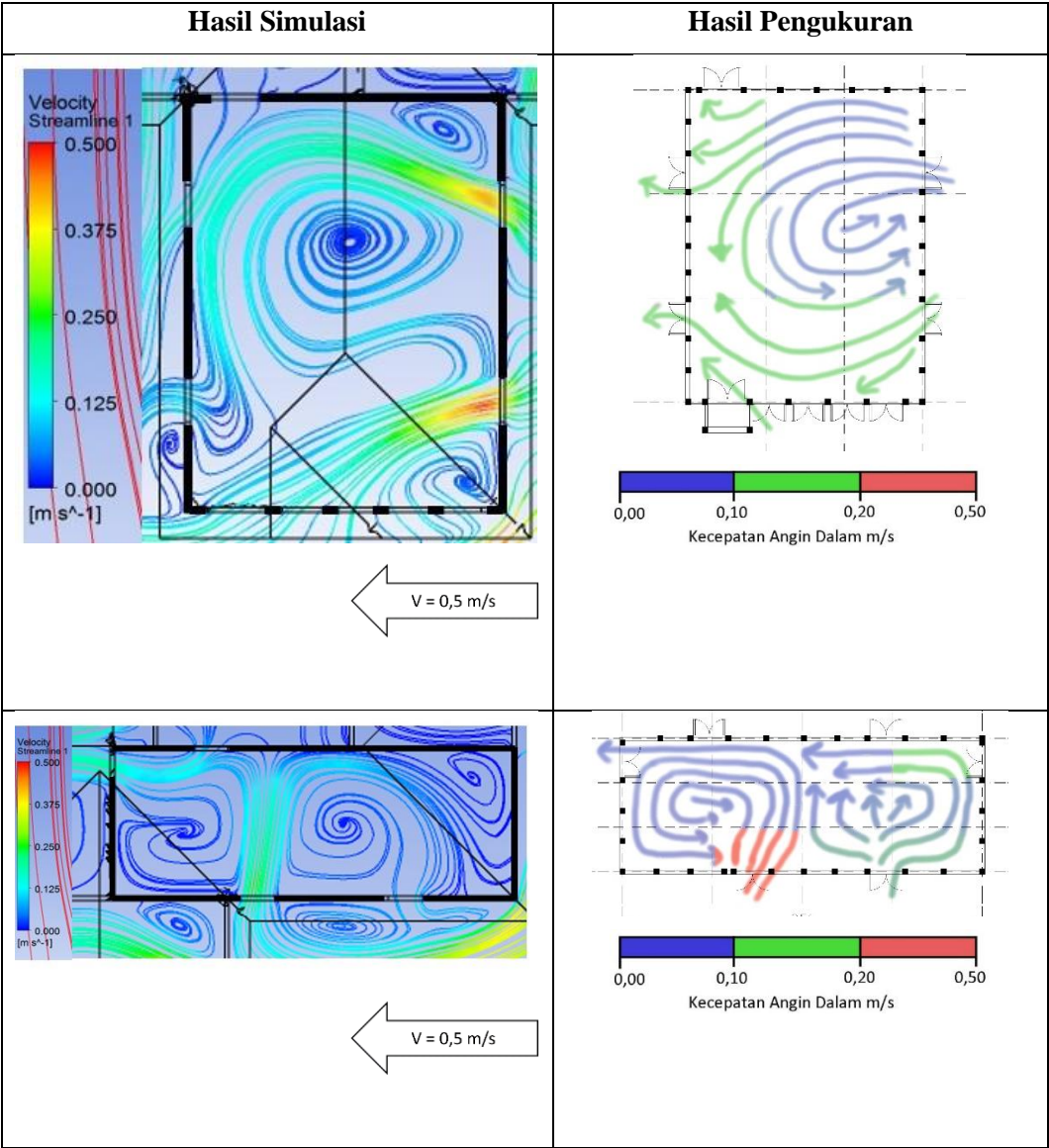
Gambar 5.1 Model 3 dimensi untuk simulasi

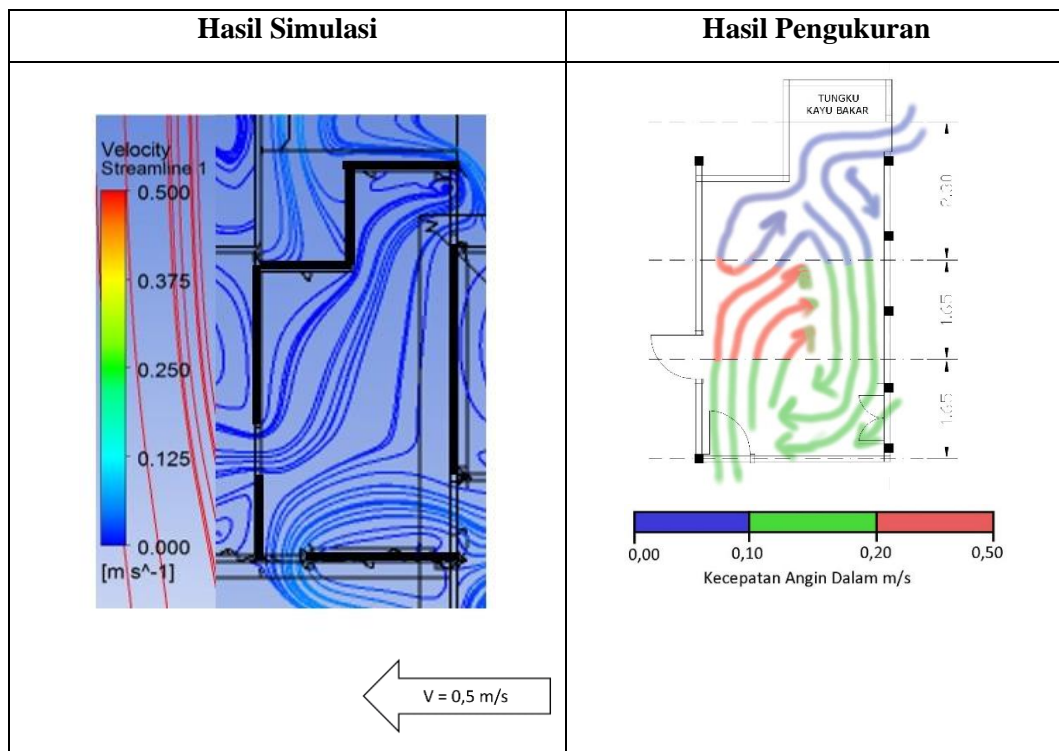
Menurut Blocken (2015), standar deviasi yang diperbolehkan untuk kecepatan angin pada program CFD yakni 0.5 – 1 m/s, akan tetapi acuan tersebut tidak dapat digunakan dalam penelitian ini karena *input* kecepatan angin yang cukup rendah (0,57 m/s). Sehingga dengan nilai *input* simulasi awal, yang dapat dijadikan verifikasi model terhadap hasil pengukuran lapangan adalah pola aliran angin (*streamline*) yang terbentuk di dalam ruangan. Hasil simulasi kemudian

dibandingkan dengan pola angin hasil pengukuran (Tabel 4.5 – 4.7) untuk menentukan hasil *streamline* dari simulasi yang paling mendekati aslinya.

*Input* simulasi dari *meshing* hingga *solver* dapat dilihat pada lampiran H dan I, sedangkan keseluruhan hasil simulasi verifikasi dapat dilihat pada lampiran J. Dari kedua simulasi awal tersebut, dibandingkan dengan ke tiga ruang hasil pengukuran, didapatkan bahwa hasil simulasi paling mendekati pada saat pengukuran hari ke tiga jam 12. Tabel 5.1 merupakan perbandingan hasil pengukuran dan simulasi;

Tabel 5.1 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran





Berdasarkan hasil yang didapatkan, eksperimen selanjutnya digunakan *input* yang sama sesuai hasil verifikasi di atas yaitu eksperimen dilakukan di hari ke tiga dengan arah angin dari Utara dengan kecepatan 0,15 m/s.

## 5.2 Hasil dan Pembahasan Eksperimen

Pada sub-bab ini pembahasan dibagi ke dalam 4 poin; eksperimen 1 merupakan proses adaptasi bangunan, eksperimen 2 membandingkan desain model bangunan dengan *input* kecepatan angin yang sama, eksperimen 3 membahas potensi bukaan *Rumbak Tahansengan* untuk penghawaan alami, sedangkan eksperimen 4 membahas aplikasi penggunaan *Rumbak Tahansengan* pada bangunan masa kini. Hasil simulasi eksperimen 1 sampai 4 dapat dilihat pada lampiran K.

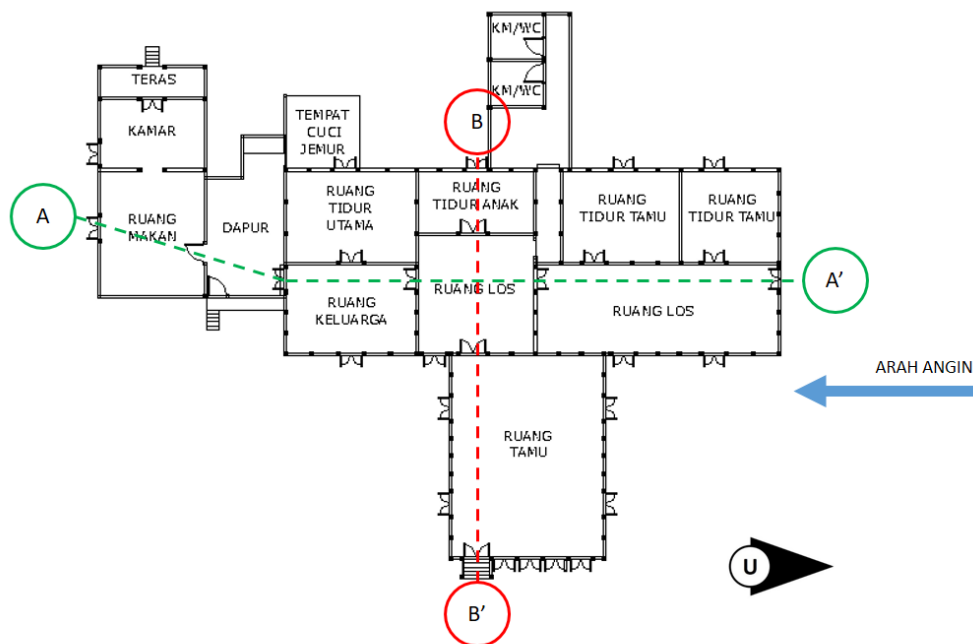
### 5.2.1 Eksperimen 1 : Perubahan Ruang Sesuai Zaman (Proses Adaptasi)

Pada eksperimen ini lebih ditegaskan bagaimana proses adaptasi bangunan terhadap kecepatan angin tertentu pada waktu tertentu. Pembahasan dilakukan dari kondisi terbaru, yaitu kondisi saat ini, ke tahun-tahun sebelumnya. Pada eksperimen

in semua bukaan di kondisikan dalam keadaan terbuka semua. *Input* data angin disesuaikan dengan *trendline* pada bab 4 dengan mengacu pada kecepatan pada pengukuran di hari ke tiga jam 12, yaitu 0,15 m/s.

Tabel 5.2 Perhitungan dan *input* kecepatan angin pada simulasi

Tahun	Model	D. Makro (m/s)	v 300m	v 1m	rata-rata pengukuran	kecepatan pada H-3 pkl 12.00
2014	A	2.06	3.44	0.77	0.20	<b>0.15</b>
1991	B	3.37	5.62	1.26	0.33	<b>0.24</b>
1983	C	3.83	6.37	1.42	0.37	<b>0.28</b>
1938	D	6.38	10.63	2.38	0.62	<b>0.46</b>
1933	E	6.67	11.10	2.48	0.64	<b>0.48</b>

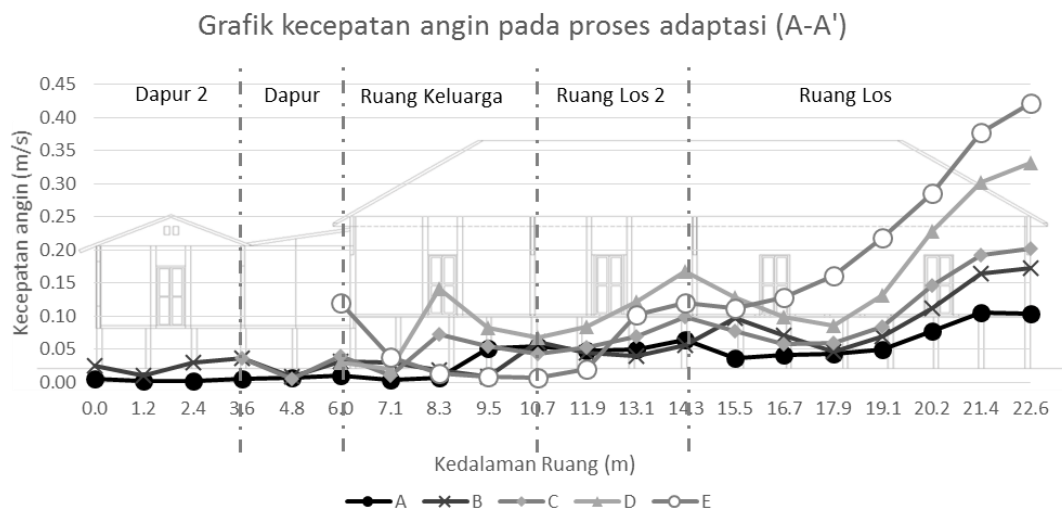


Gambar 5.2 Denah, garis potong, dan arah angin simulasi

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa terjadi peluruhan kecepatan angin pada semua model. Dengan kecepatan yang berbeda dapat terlihat bahwa kelima model tersebut mempunyai pola kecepatan angin yang hampir sama. Kecepatan angin dari *inlet* menuju Ruang Los turun sekitar 60-70% di tengah ruangan

(koordinat 17.9 pada Gambar 5.3) kemudian meningkat pada *outlet* pintu ke ruangan lainnya sekitar 30-50% dan meluruh kembali. Rendahnya nilai kecepatan angin di tengah ruangan disebabkan oleh pergerakan angin yang sudah memasuki fase *terminal region* dimana pada fase tersebut angin kehilangan tekanan sehingga kecepatannya menjadi stabil karena sudah menyatu dengan udara di dalam ruang. Fase ini terjadi akibat gesekan terhadap dinding partisi yang ada di dalam bangunan sehingga menyebabkan tekanan udara menjadi hilang (Awbi, 1991).

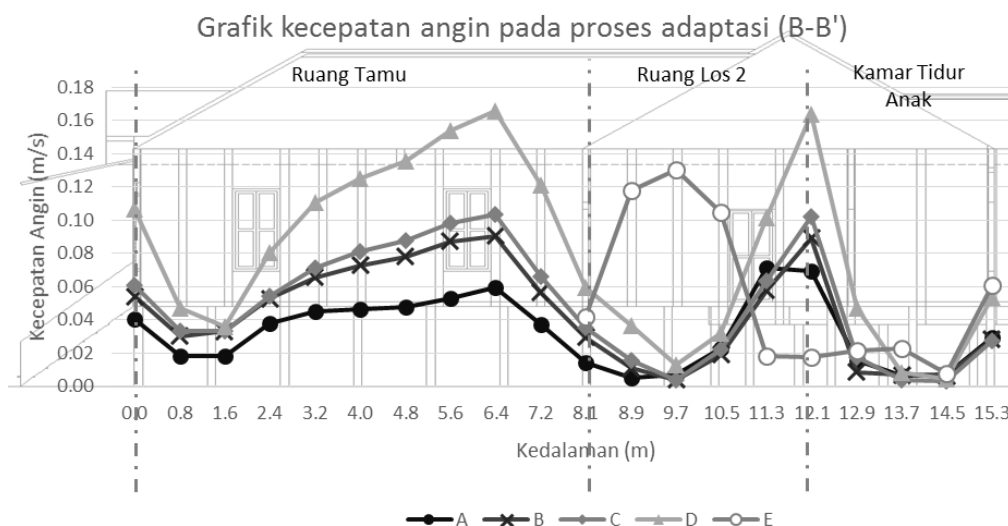
Ketidakrataan nilai kecepatan angin di dalam ruang disebabkan perbedaan tekanan yang terjadi akibat adanya penghalang berupa dinding partisi diantara ruang (Boutet, 1987). Kecepatan angin tetap mengalami fluktuasi peningkatan ketika bertemu *outlet*, terkecuali dengan model E. Hal ini karena kecepatan angin lebih merata akibat ada bukaan dari ketiadaan partisi dan plafon sehingga kecepatan angin lebih cepat merata di dalam ruang. Hampir tidak ada peningkatan pada grafik model E kecuali pada *outlet* ruangan, Hal ini karena tidak ada partisi ataupun bukaan pada partisi yang menyebabkan penyempitan aliran udara, sehingga angin di dalam ruang lebih cepat memasuki fase *terminal regional/stabil* (Awbi, 1991)



Gambar 5.3 Grafik kecepatan angin pada proses adaptasi potongan A-A'

Gambar 5.4 menunjukkan grafik antar bukaan yang tegak lurus arah datang angin. Pemerataan kecepatan angin tersebut dapat dilihat pula pada gambar tersebut, di mana walaupun dengan *input* kecepatan angin yang lebih cepat,

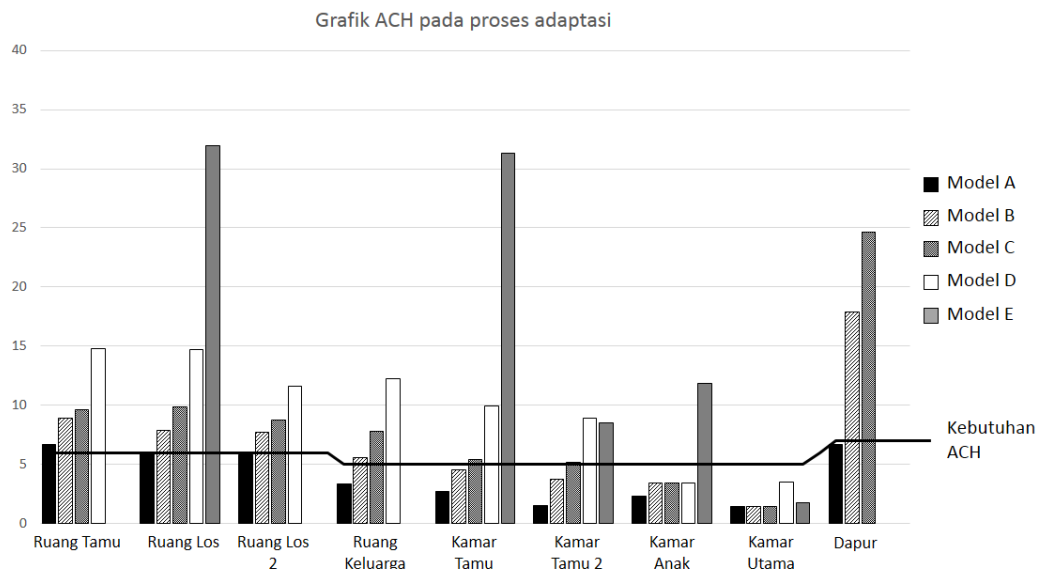
simpangan kecepatan terendah dan tertinggi model tahun 1933 tidak lebih besar dari model tahun 1938 yang mempunyai kecepatan *input* lebih kecil. Pada model A-D simpangan tertinggi terjadi akibat penyempitan aliran udara pada *outlet* partisi bangunan.



Gambar 5.4 Grafik kecepatan angin pada proses adaptasi potongan B-B'

Pada Gambar 5.5 dapat terlihat bahwa model pada tahun 1933 mempunyai nilai yang sangat mencolok dibandingkan dengan model di tahun-tahun lain, hal ini diakibatkan kecepatan angin yang lebih tinggi dan tidak adanya plafon di dalam ruang sehingga volume ruang bertambah. Pertambahan volume atap diiringi dengan pertambahan bukaan, hal ini terjadi akibat dinding ruangan hanya sampai ketinggian 3,1 m sehingga ruang atap tidak memiliki dinding pemisah antara ruang satu dan lainnya. Ketiadaan dinding pemisah ini kemudian diasumsikan sebagai pertambahan bukaan, baik *inlet* maupun *outlet* tergantung arah angin di dalam ruang.

Grafik 5.5 juga menunjukkan bahwa Kamar Tidur yang justru memiliki ACH (perhitungan pada lampiran L) yang tidak memenuhi kriteria minimum. Hal ini diakibatkan karena tidak adanya bukaan yang menghadap arah angin. Khususnya di Kamar Tidur utama dan Kamar Tidur anak, dimana letaknya terpisah 2-3 kali pembagian ruang dan bukaan pada kamar tersebut ada pada sisi *leeward* bangunan.



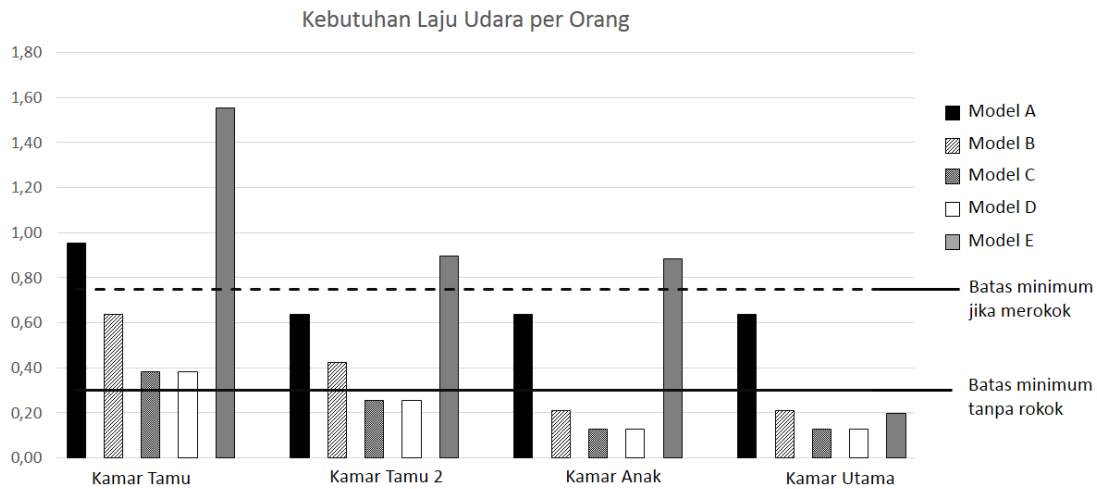
Gambar 5.5 Grafik *Air Change per Hour* pada proses adaptasi bangunan

Aspek kesehatan tidak hanya dapat dinilai menggunakan ACH, tetapi juga dapat dinilai dari kebutuhan laju udara per orang. ACH hanya menilai pergantian angin per ruangan, sedangkan kebutuhan laju udara yang telah tercantum pada SNI 03-6572-2001 selain standar per ruang, SNI juga mencantumkan kebutuhan laju udara untuk tiap orang. Indikasi tersebut dibedakan menjadi 2 yaitu merokok dan tidak merokok, dimana jika terdapat orang yang merokok dalam ruangan tersebut, standar laju udaranya semakin tinggi.

Perbedaan jumlah penghuni juga terjadi pada Rumah Betang Djaga Bahen. Perkasa (2010) mendeskripsikan jumlah kepala keluarga yang tinggal di rumah tersebut dari waktu ke waktu (Tabel 2.9). Hal ini yang menjadi dasar asumsi untuk menentukan jumlah penghuni per Kamar Tidur dan menghitung kebutuhan laju udara per orang pada Kamar Tidur tersebut.

Gambar 5.6 menunjukkan model A mempunyai nilai pertukaran laju udara per orang paling baik, walaupun nilai ACH ruangan yang paling kecil di antara model-model lainnya. Model C dan D merupakan model yang Kamar Tidurnya paling tidak sehat, hal ini diakibatkan karena pada periode ini terdapat penambahan anggota keluarga, tetapi kecepatan angin lebih rendah dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

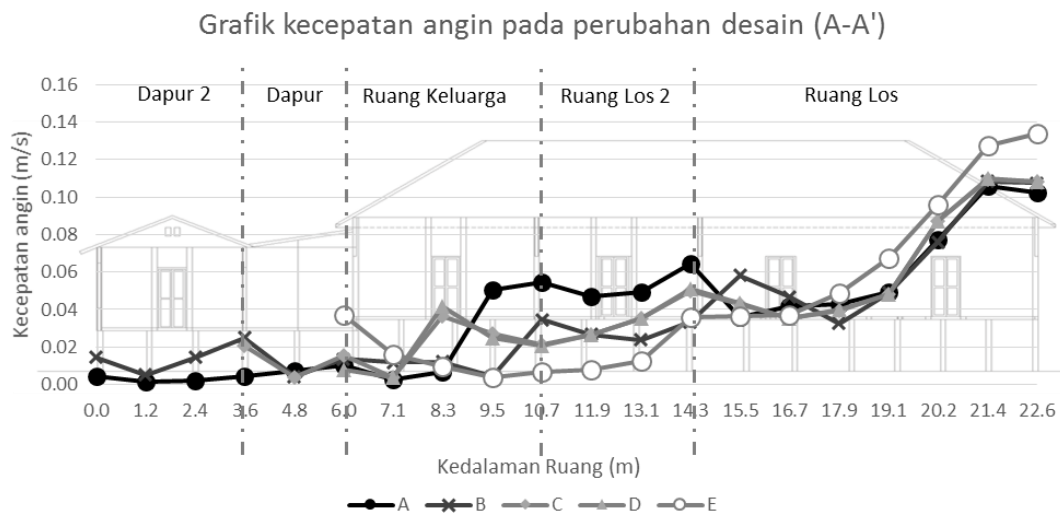




Gambar 5.6 Kebutuhan laju udara per orang di dalam ruang

### 5.2.2 Eksperimen 2 : Perbandingan desain

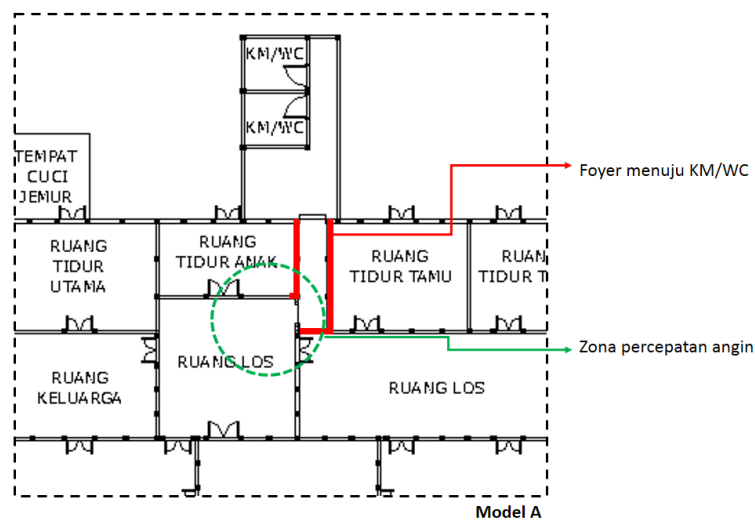
Pada eksperimen ini dilihat sejauh mana perubahan rumah Betang mempengaruhi pola dan kecepatan angin di dalam ruang. *Input* angin pada eksperimen ini disesuaikan dengan kecepatan angin masa kini dengan mengacu pada kecepatan pada pengukuran di hari ke tiga jam 12, yaitu 0,15 m/s.



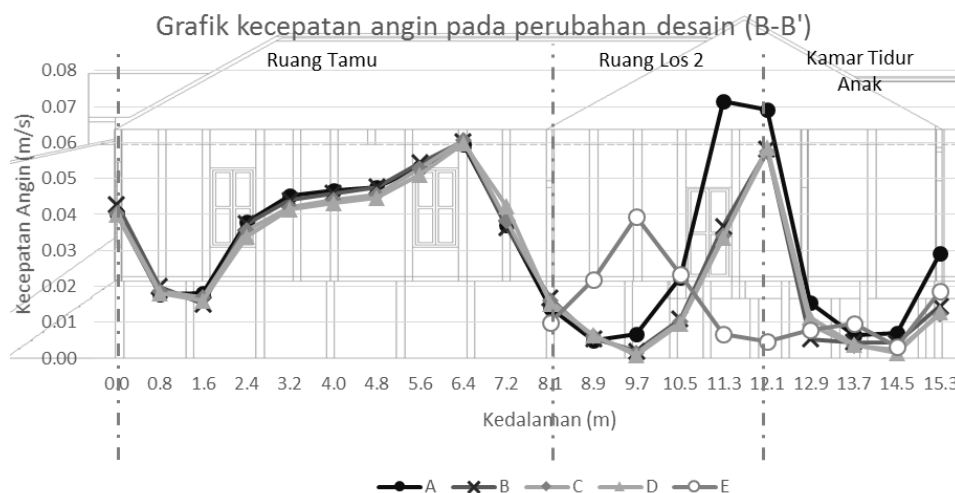
Gambar 5.7 Grafik kecepatan angin pada perubahan desain potongan A-A'

Sama seperti pada eksperimen sebelumnya, kecepatan angin dari *inlet* menuju Ruang Los turun sekitar 60-70% di tengah ruangan kemudian meningkat

pada *outlet* pintu ke ruangan lainnya sekitar 30-50% dan meluruh kembali. Dengan *input* kecepatan yang sama dapat terlihat bahwa di tengah ruangan kecepatan tertinggi terdapat pada model A (Gambar 5.7 koordinat 9,5 – 14,3). Hal ini terjadi karena terdapat ruang penghubung menuju ke kamar mandi (Gambar 5.8), yang tidak terdapat di model lainnya, sehingga terjadi penyempitan yang mengakibatkan kecepatan angin meningkat. Peningkatan tersebut juga dapat terlihat pada Gambar 5.9 dimana model A mempunyai puncak kecepatan tertinggi dibandingkan dengan model lainnya.

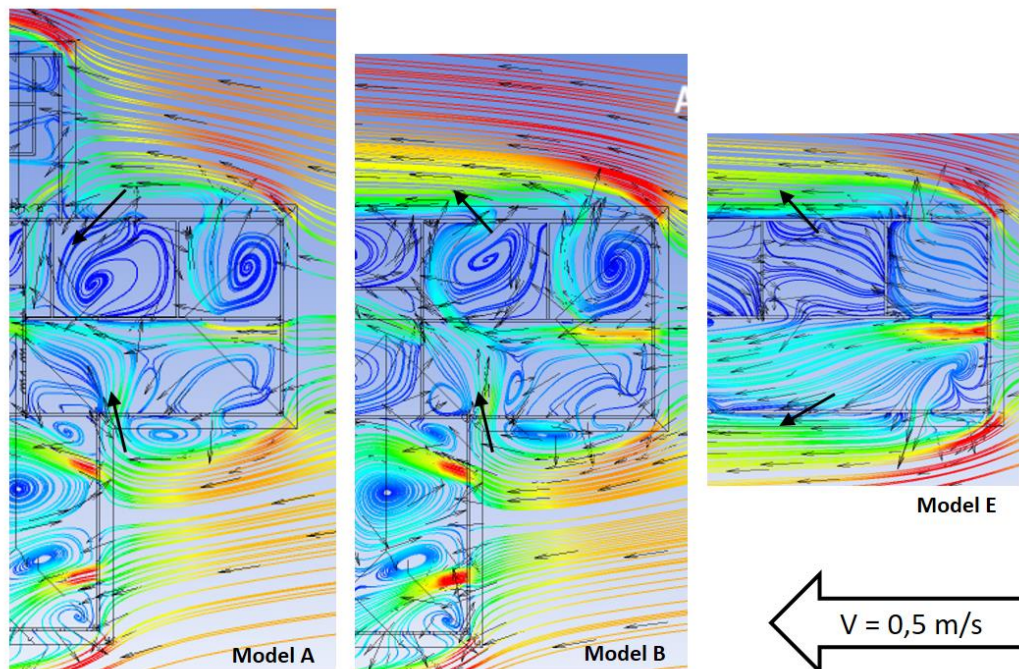


Gambar 5.8 Foyer menuju kamar mandi



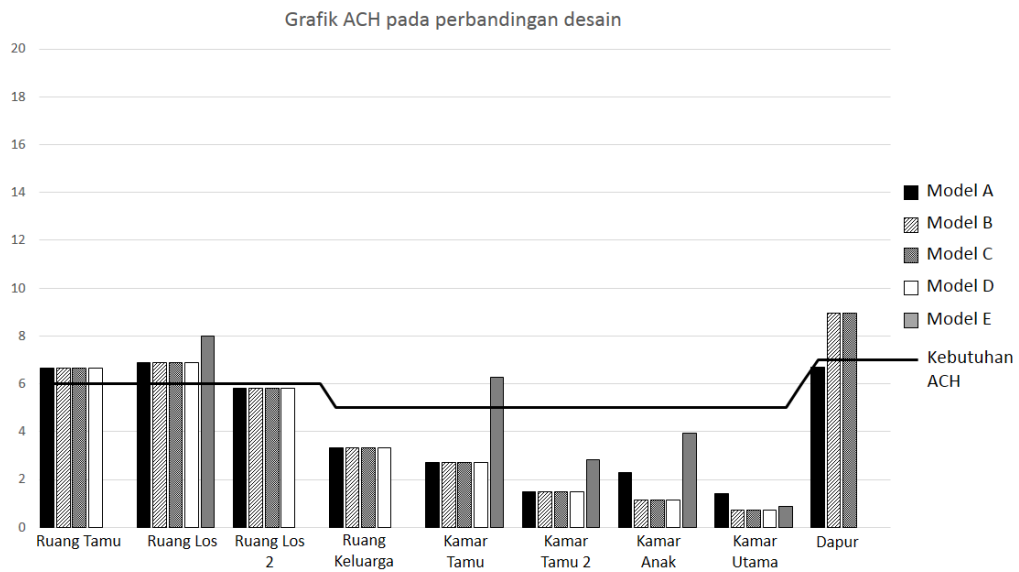
Gambar 5.9 Grafik kecepatan angin pada perubahan desain potongan B-B'

Penambahan ruangan dalam suatu bangunan mempunyai dampak tertentu dalam hal penghawaan alami. Angin yang menabrak dinding pembatas akan terdefraksi dan mencari arah baru untuk mengalir. Hal ini pula yang terjadi pada Rumah Betang Djaga Bahen, yaitu penambahan kamar tamu dan kamar mandi baru. Sebagai perbandingan model A, B, dan E mengalami perubahan penambahan ruang pada sisi *leeward* yang mengakibatkan tekanan positif pada sisi bangunan (Moore, 1993). Hal ini berdampak pada arah angin masuk dan keluar, menentukan bukaan pada bangunan sebagai *inlet* atau *outlet*. Perubahan fungsi *inlet* dan *outlet* ini dapat dilihat pada Gambar 5.10.

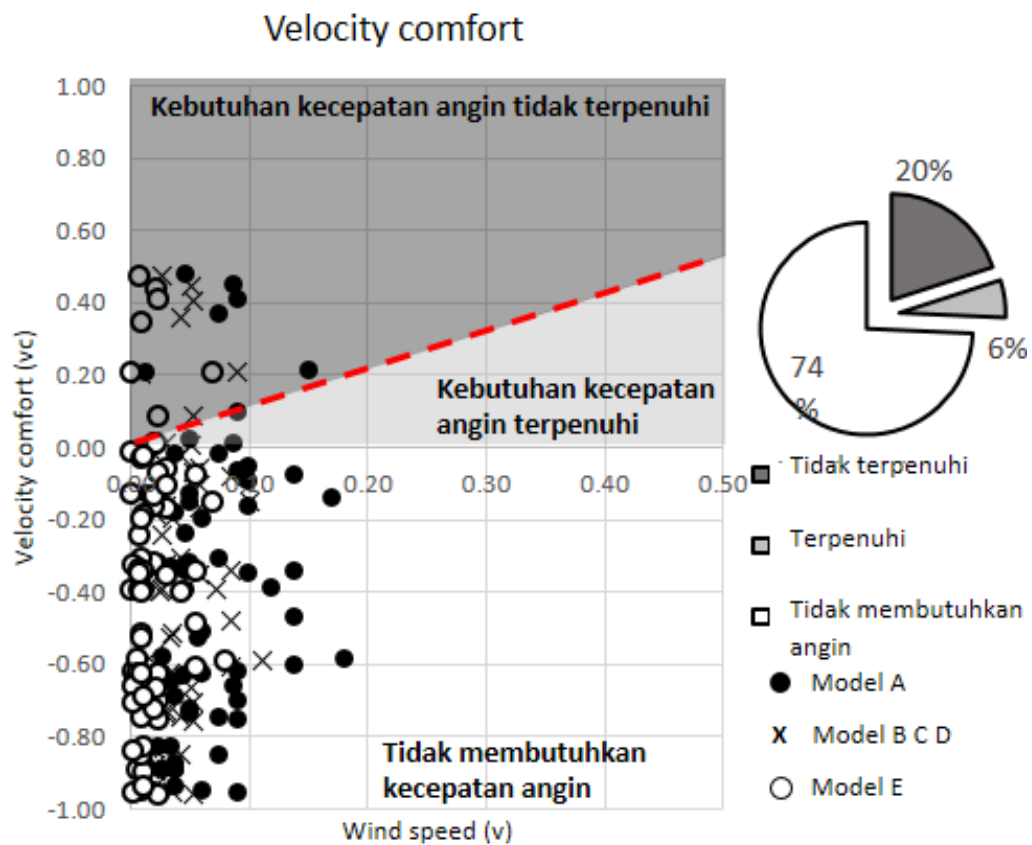


Gambar 5.10 Perubahan fungsi bukaan *inlet* dan *outlet* pada perubahan desain bangunan

Gambar 5.11 memperlihatkan grafik ACH sebagai perbandingan desain antara 5 desain Rumah Betang. Dapat terlihat bahwa secara faktor kesehatan, ACH yang memenuhi kriteria hanya pada Ruang Tamu, Ruang Los dan Dapur. Ruang-ruang lain seperti Kamar Tidur mempunyai nilai ACH yang kecil karena pada ruangan tersebut tidak mendapatkan bukaan langsung yang mengarah pada angin datang.



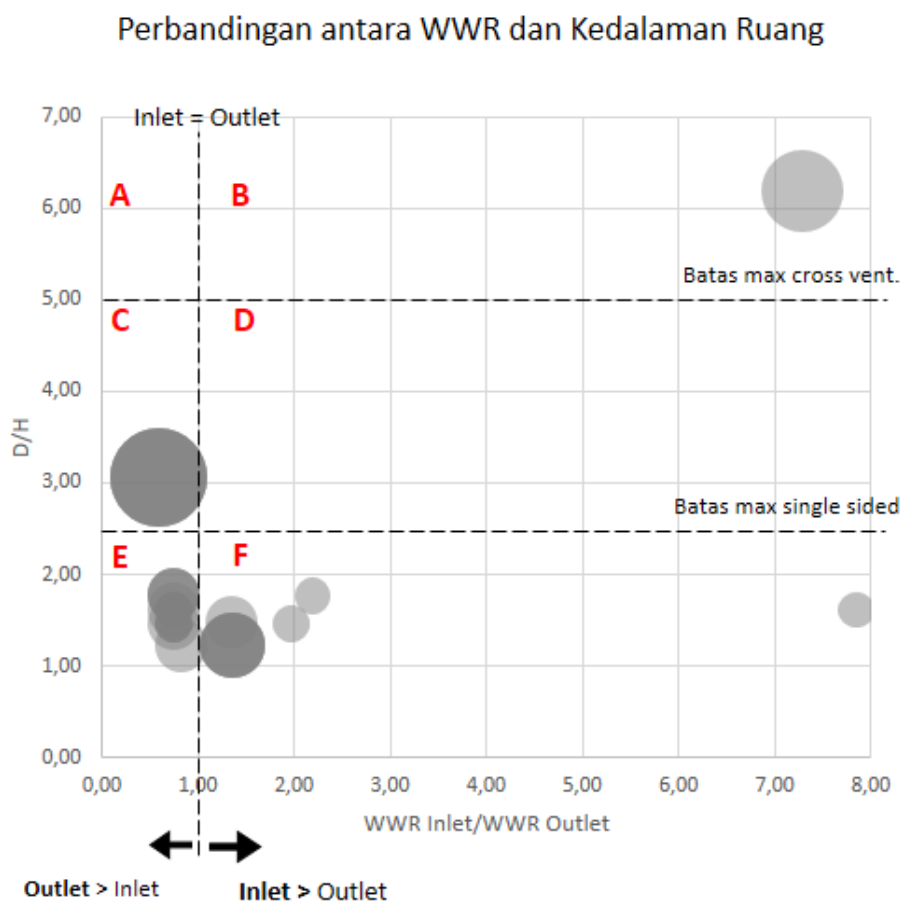
Gambar 5.11 Grafik *Air Change per Hour* pada perbandingan desain bangunan



Gambar 5.12 Persebaran kecepatan angin yang dibutuhkan

Keterangan : Model B C D mempunyai kecepatan angin yang sama

Pada aspek kenyamanan kelima model tersebut dibandingkan dengan melihat kebutuhan angin pada Rumah Betang Djaga Bahen. Penentuan titik simulasi dilakukan pada ruangan yang tetap ada pada 5 kali periode perubahan, dan merupakan perpotongan garis potong A-A' dan garis potong B-B' (Gambar 5.2). Gambar diatas (5.12) menunjukkan grafik persebaran kebutuhan kecepatan angin. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa walaupun mempunyai nilai yang berbeda-beda, persebaran antara tidak butuh kecepatan angin, kecepatan angin yang terpenuhi dan kecepatan angin yang tidak terpenuhi pada semua model adalah sama. Dalam eksperimen 3 x 24 jam, semua model mempunyai 7 titik waktu dimana kebutuhan kecepatan angin tidak terpenuhi, 2 titik waktu yang butuh kecepatan angin untuk dan telah terpenuhi, sedangkan sisanya yaitu 26 titik tidak memerlukan kecepatan angin untuk pendinginan fisiologis.



Gambar 5.13 Perbandingan antara WWR dan kedalaman ruang

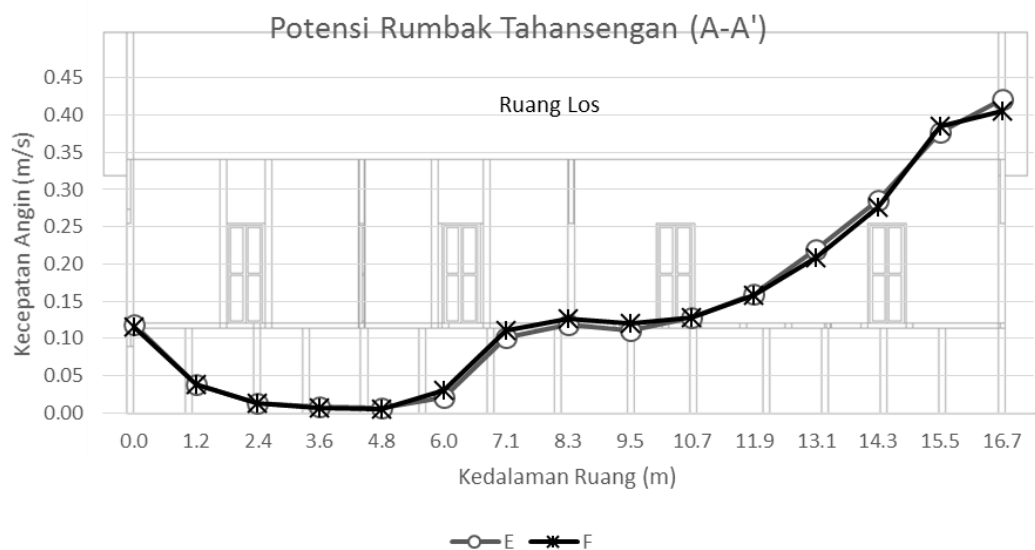
Keterangan :

- A = Melebihi ambang batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan *cross ventilation*, dengan *outlet* lebih besar dari *inlet*
- B = Melebihi ambang batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan *cross ventilation*, dengan *inlet* lebih besar dari *outlet*
- C = Di dalam batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan *cross ventilation*, dengan *outlet* lebih besar dari *inlet*
- D = Di dalam batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan *cross ventilation*, dengan *inlet* lebih besar dari *outlet*
- E = Di dalam batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan pada satu sisi dinding, dengan *outlet* lebih besar dari *inlet*
- F = Di dalam batas kedalaman untuk ruang dengan bukaan pada satu sisi dinding, dengan *outlet* lebih besar dari *inlet*

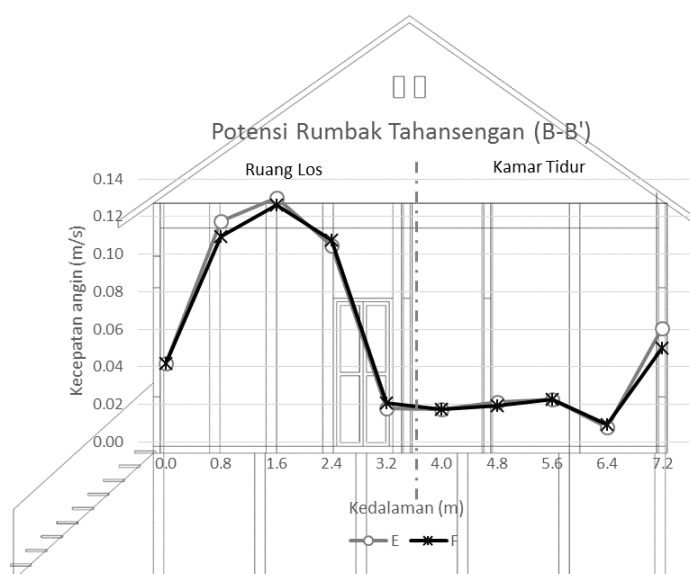
Eksperimen 2 ini juga membandingkan antara pengaruh dari WWR dan kedalaman ruang. Pada Gambar 5.13 dapat terlihat bahwa grafik dibagi kedalam 6 zona berbeda. Persebaran data paling banyak ada pada zona E walaupun nilainya tidak besar. Zona E merupakan Gambaran dari ruangan-ruangan yang tidak mempunyai bukaan langsung yang sejajar dan memiliki *outlet* lebih besar dari *inlet*. Zona E mempunyai persebaran terbanyak karena dihuni oleh ruang kamar dimana perbandingan lebar dan tinggi yang tidak jauh berbeda (Liddament, 1996) dan mempunyai *outlet* (indoor) berupa pintu yang lebih besar dari jendela. Zona C yang merupakan zona dengan ruangan yang lebih dalam dari ruang-ruang lainnya. *Bubble* pada zona C adalah yang paling besar dan posisinya paling kiri pada grafik, hal ini menandakan kecepatan paling tinggi dibandingkan dengan lainnya karena *outlet*nya lebih besar dibanding dengan *inlet*, sesuai dengan Allard (1998) dan Aldawoud (2017) dimana persentase kecepatan angin masuk dan angin di dalam ruang tertinggi adalah ketika *outlet* lebih besar dibanding *inlet*.

### 5.2.3 Eksperimen 3 : Potensi Bukaannya Rumbak Tahasengan

Eksperimen kedua adalah mencoba melihat kegunaan dari bukaan atap *Rumbak Tahasengan*. Bukaan ini berupa 2 buah lubang dengan ukuran 30 x 15cm yang letaknya ada pada gevel bangunan dengan atap pelana. Pada eksperimen ini digunakan model Rumah Betang asli, yaitu ketika tahun 1933. Model diberikan 2 perlakuan yang berbeda, yaitu dengan keadaan asli (E) dengan *Rumbak Tahasengan* dan tanpa *Rumbak Tahasengan* (F).



Gambar 5.14 Grafik potensi *Rumbak Tahasengan* potongan A-A'

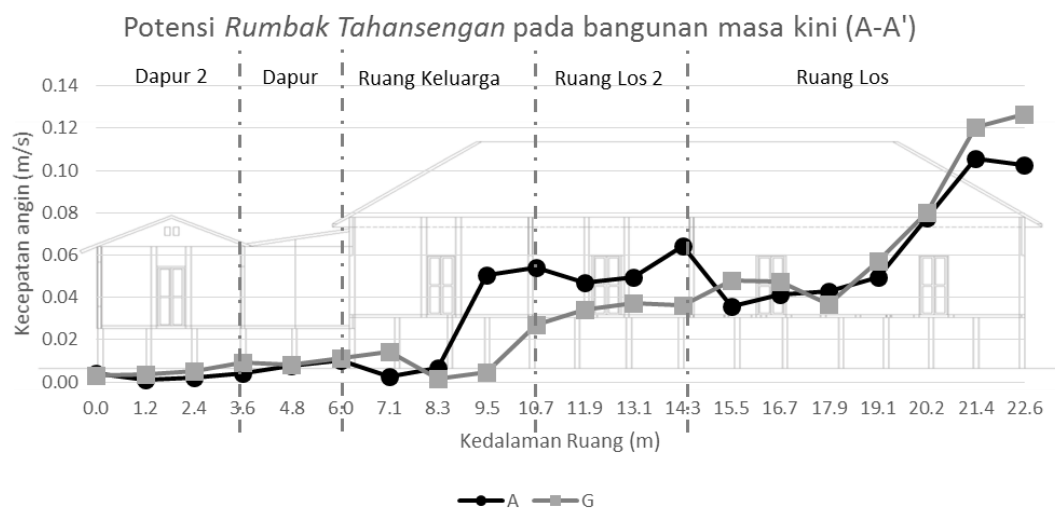


Gambar 5.15 Grafik potensi *Rumbak Tahasengan* potongan B-B'

Kedua grafik di atas (Gambar 5.14 dan 5.15) menunjukkan kemiripan. Perbedaan kecepatan angin yang terjadi hanya sekitar 0,01 m/s. Hal ini menunjukkan dengan luas bukaan *Rumbak Tahansengan* sesuai kondisi asli, kecepatan angin tidak terlalu berpengaruh secara signifikan. Bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan*, sesuai dengan bentuk aslinya, tidak dapat mempengaruhi kecepatan angin secara signifikan, hal ini karena luas bukaannya yang terlalu kecil sehingga tidak berpengaruh banyak terhadap masuknya angin ke dalam ruangan secara *wind driven*.

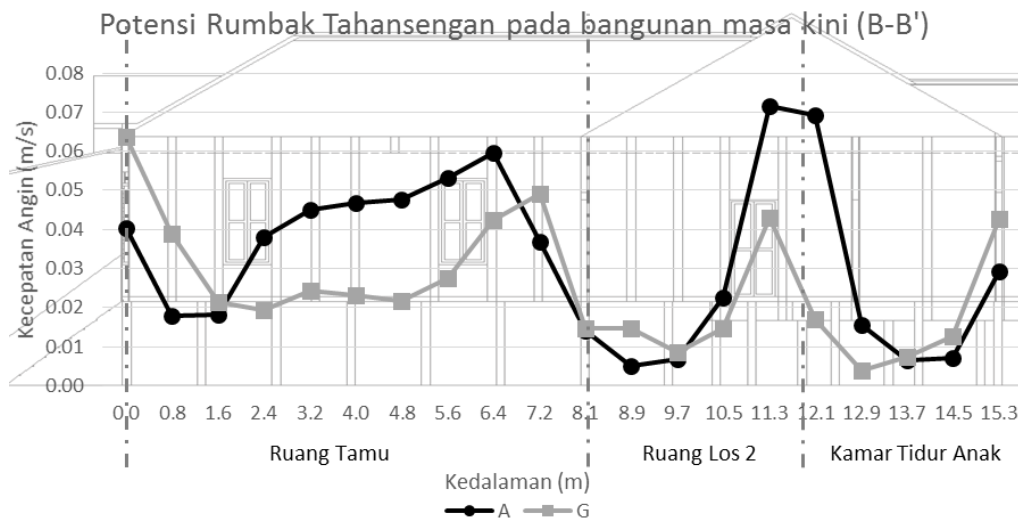
#### 5.2.4 Eksperimen 4 : Potensi *Rumbak Tahansengan* pada bangunan masa kini

Eksperimen berikut membahas mengenai penggunaan *Rumbak Tahansengan* pada model bangunan saat ini (model A). Penggunaan *Rumbak Tahansengan* pada bangunan saat ini diikuti dengan penggantian model atap dari perisai menjadi pelana, hal ini karena letak *Rumbak Tahansengan* terdapat pada gewel bangunan. Hal ini juga berpengaruh di dalam ruang dimana tidak ada plafon sebagai pemisah dengan ruang atap.



Gambar 5.16 Grafik potensi *Rumbak Tahansengan* pada bangunan masa kini potongan A-A'

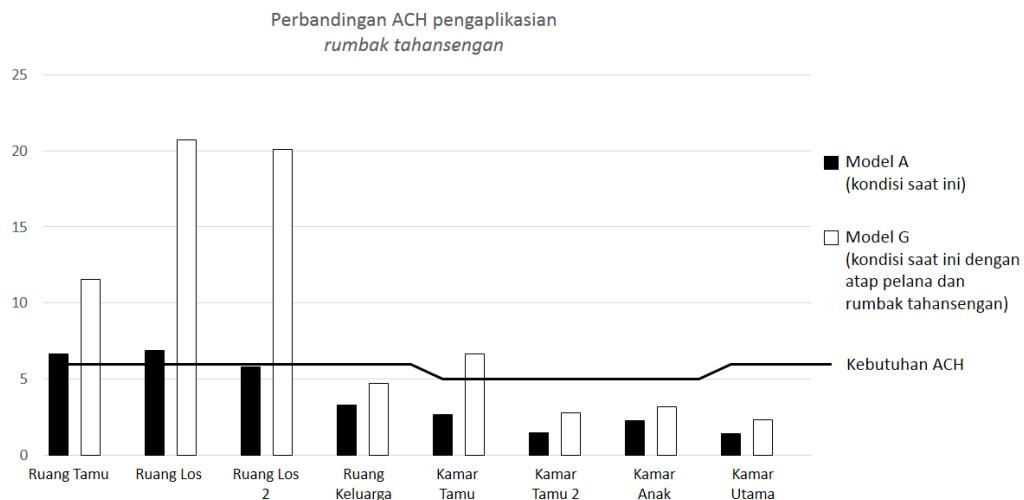




Gambar 5.17 Grafik potensi *Rumbak Tahansengan* pada bangunan masa kini potongan B-B

Kedua grafik di atas (Gambar 5.16 dan 5.17) memperlihatkan bahwa model G mempunyai kecepatan angin lebih tinggi pada *inlet* ataupun *outlet* bangunan tetapi lebih rendah di tengah ruangan dibandingkan dengan model A. Hal ini menunjukkan bahwa pemerataan angin pada model G lebih baik dibandingkan dengan model A, fluktuasi kecepatan angin pada model G lebih rendah dibandingkan dengan model A. Hal ini diakibatkan karena dengan adanya ruang plafon maka bukaan pada ruangan tersebut bertambah. Tambahan bukaan tersebut, baik *inlet* ataupun *outlet*, menyebabkan perbedaan tekanan udara yang lebih rendah sehingga kecepatan angin lebih cepat memasuki fase *terminal regional* (Awbi, 1991).

Berdasarkan pembahasan eksperimen 3 (sub-bab 5.2.3) dapat dikatakan bahwa bukaan *Rumbak Tahansengan* kurang berfungsi, akan tetapi perubahan volume akibat tidak adanya plafon juga menyebabkan perubahan pada nilai ACH di dalam ruang. Hal ini akibat terdapat perubahan volume dan perubahan luasan *inlet* dan *outlet* pada ruangan tersebut, kedua elemen bangunan tersebut merupakan variabel dalam bangunan untuk menentukan nilai ACH (Szokolay, 2004). Dapat dilihat pada Gambar 5.18 dimana aplikasi *Rumbak Tahansengan* pada model G dapat meningkatkan nilai ACH.



Gambar 5.18 Grafik Air Change per Hour pada pengaplikasian *Rumbak Tahansengan*

### 5.3 Rangkuman Hasil Eksperimen

Berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi diatas didapatkan beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan kinerja penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen. Hal-hal tersebut antara lain yaitu:

- Kecepatan angin dari *inlet* masuk ke dalam ruang turun sekitar 60-70% kemudian meningkat pada *outlet* sekitar 30-50%. Rendahnya nilai kecepatan angin di tengah ruangan disebabkan oleh pergerakan angin yang sudah memasuki fase *terminal region* dimana pada fase tersebut angin kehilangan tekanan sehingga kecepatannya menjadi stabil karena sudah menyatu dengan udara di dalam ruang (Awbi, 1991). Pada penelitian Hurnik dkk. (2015) maksimum komponen utama kecepatan angin bertahan dan menjadi *free jet* adalah 2/3 panjang bangunan dari bukaan awal.
- Penambahan ruang dapat mengakibatkan perubahan fungsi *inlet* menjadi *outlet* atau sebaliknya, hal ini karena dinding akibat penambahan ruang dapat dianggap sebagai *wing walls* yang dapat mempengaruhi tekanan udara di luar ruang (Moore,1993). *Wing walls* juga dapat memperbaiki penghawaan alami dengan meningkatkan pertukaran udara perjam (ACH) dan kecepatan rata-rata di dalam ruang (Mak dkk, 2007)
- Grafik ACH memperlihatkan bahwa secara faktor kesehatan, ACH yang memenuhi kriteria hanya pada Ruang Tamu, Ruang Los dan Dapur. Ruang-

ruang lain seperti Kamar Tidur mempunyai nilai ACH yang kecil karena pada ruangan tersebut tidak mendapatkan bukaan langsung yang mengarah pada angin datang.

- Pada proses adaptasi dari tahun 1933 sampai saat ini pada ACH harus memperhitungkan jumlah okupansi. Hal tersebut untuk mengetahui kebutuhan laju udara tiap orang pada ruangan tertentu. Pada Rumah Betang Djaga Bahen, walaupun nilai ACH model A paling kecil, tetapi laju kebutuhan angin per orang adalah yang paling baik karena jumlah okupansi yang lebih sedikit.
- Dari segi kenyamanan berdasarkan hasil simulasi, lima model Rumah Betang Djaga Bahen masih dapat dikatakan nyaman, karena sekitar 80% kebutuhan pendinginan fisiologis telah terpenuhi.
- Pada penelitian ini juga dicari korelasi antara pengaruh dari WWR dan kedalaman ruang. Menurut Chu dan Chiang (2014), semakin dalam ruang kecepatan angin akan semakin menurun terlebih jika kedalaman ruang ( $D/H$ ) lebih dari 5. Pada penelitian ini kedalaman ruang tidak serta menurunkan kecepatan angin, hal ini harus pula dibandingkan dengan perbandingan *outlet* terhadap *inlet*. Persentase kecepatan angin masuk dan angin di dalam ruang tertinggi adalah ketika *outlet* lebih besar dibanding *inlet* (Allard, 1998 dan Aldawoud, 2017).
- Bukaan *Rumbak Tahansengan* tidak dapat menambah kecepatan angin didalam ruang secara signifikan ( $>0,01$  m/s) karena secara WWR hanya bertambah sekitar 0,2%. Walaupun kurang berfungsi, bukaan tersebut mengakibatkan perubahan volume akibat tidak adanya plafon sebagai penyekat ruang atap. Hal ini akibat terdapat perubahan volume dan perubahan luasan *inlet* dan *outlet* pada ruangan tersebut, kedua elemen bangunan tersebut merupakan variabel dalam bangunan untuk menentukan nilai ACH (Szokolay, 2004). Perubahan volume bangunan mempengaruhi nilai ACH ruangan, semakin besar volume bangunan maka nilai ACH semakin besar begitu pula sebaliknya, hal ini karena volume juga dibutuhkan untuk menghitung laju udara ( $m^3/s$ ) untuk memenuhi ruangan tersebut (Noman dkk, 2016).

- Pengaplikasian *Rumbak Tahansengan* pada model bangunan A (masa kini) menyebabkan bentuk atap berubah dari perisai menjadi pelana dan menghilangkan plafon sebagai pembatas ruang atap. Atap tinggi tanpa plafon berkontribusi terhadap aliran udara masuk ke dalam bangunan dan dengan adanya penghawaan atas juga menunjukkan kemungkinan terjadinya *stack effect* (Wahab, 2014).

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN & SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Rumah Betang Djaga Bahen merupakan Rumah Betang yang telah mengalami perubahan bentuk dan konfigurasi ruang. Perubahan ini diakibatkan karena perilaku, pola hunian dan fungsi yang berubah mengikuti zaman. Perubahan tersebut terkadang berdampak pada kenyamanan fisiologis dan penghawaan alami pada bangunan. Dampak perubahan tersebut dibahas terlebih dahulu dari kondisinya saat ini.

Rumah Betang Djaga Bahen saat ini masih dapat dikatakan nyaman hampir di sepanjang siang hari ditunjukkan dengan kecepatan angin telah memenuhi syarat kecepatan angin minimum yang dibutuhkan (*vc/velocity comfort*) dalam 17% dari kurun waktu siang hari (pukul 06.00 – 18.00). Di sepanjang malam pula Rumah Betang Djaga Bahen tidak memerlukan kecepatan angin sebagai pendinginan secara fisiologis. Walaupun begitu, kurangnya kecepatan angin di dalam ruang menyebabkan aspek kesehatan pada Rumah Betang Djaga Bahen dinilai kurang baik. Hanya ruang publik yang memenuhi nilai syarat ACH (*Air Change per Hour*), sedangkan hampir seluruh Kamar Tidur tidak memenuhi syarat kesegaran udara. Hal ini karena hampir semua Kamar Tidur tidak mendapatkan bukaan langsung yang mengarah pada arah angin datang.

Setelah mengetahui kondisi Rumah Betang Djaga Bahen saat ini, maka dapat dicari runtutan ke masa lalu mengenai dampak dari konfigurasi ruang dan bentuk ruang yang berubah. Hal ini untuk dapat mengetahui ada atau tidaknya perubahan tersebut bukan hanya dari sudut pandang sosial, tetapi juga dari aspek lingkungan. Baik dengan kecepatan *input* yang sama ataupun berbeda, kecepatan angin dari *inlet* masuk ke dalam ruang turun sekitar 60-70% kemudian meningkat pada *outlet* sekitar 30-50%. Rendahnya nilai kecepatan angin di tengah ruangan disebabkan oleh pergerakan angin yang sudah memasuki fase *terminal region* dimana pada fase tersebut angin kehilangan tekanan sehingga kecepatannya menjadi stabil karena sudah menyatu dengan udara di dalam ruang (Awbi, 1991).

Perubahan konfigurasi ruang mempengaruhi kedalaman ruang, sedangkan perubahan jumlah bukaan mempengaruhi persentase WWR. Korelasi kedua hal tersebut menunjukkan semakin dalam ruang tidak serta merta menurunkan kecepatan angin, hal ini harus pula dibandingkan dengan perbandingan *outlet* terhadap *inlet*. Hal tersebut bertentangan dengan Chu dan Chiang (2014) yang mengatakan semakin dalam ruang kecepatan angin akan semakin menurun, tetapi sejalan dengan Allard (1998) dan Aldawoud (2017) yang mengatakan persentase kecepatan angin masuk dan angin di dalam ruang tertinggi adalah ketika *outlet* lebih besar dibanding *inlet*.

Di masa lalu terdapat bukaan tradisional bernama *Rumbak Tahansengan*. Bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan*, tidak dapat mempengaruhi kecepatan angin secara signifikan, hal ini karena luas bukaannya yang terlalu kecil (penambahan WWR 0,2%) sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap masuknya angin ke dalam ruangan secara *wind driven*. Pada pengaplikasian *Rumbak Tahansengan*, yang menyebabkan perubahan aliran dan kecepatan angin adalah bentuk atap pelana dan tidak adanya plafon. Bentuk atap pelana menyebabkan adanya *gevel* pada arah angin (*windward*) yang menghasilkan tekanan angin yang lebih besar di permukaan bangunan (Lechner, 2007). Ditambah dengan ketidakadaan plafon sebagai pembatas ruang atap membuat keterhubungan antara ruang atap dan ruang huni, sehingga bukaan tradisional *Rumbak Tahansengan* berperan menambah luas bukaan. Tambahan bukaan tersebut, baik *inlet* ataupun *outlet*, menyebabkan perbedaan tekanan udara yang lebih rendah sehingga kecepatan angin lebih cepat memasuki fase *terminal regional* (Awbi, 1991).

## 6.2 Saran

Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi dan melihat pengaruh penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen. Sebagai keberlanjutan dari penelitian ini disarankan untuk melakukan studi optimasi penghawaan alami pada Rumah Betang Djaga Bahen ataupun mengenai penghawaan alami pada rumah tradisional lainnya. Optimasi dapat dilakukan dengan mengembangkan beberapa variabel yang telah disebutkan diatas.

- Untuk masyarakat, perancang dan pembangun, diharapkan pada proses perkembangan Rumah Betang Djaga Bahen selanjutnya, untuk mengutamakan ruang-ruang yang belum memenuhi syarat baik dari segi kenyamanan dan atau dari segi kesehatan. Pada rumah ini adalah ruang-ruang pada sisi Barat, yaitu kamar-Kamar Tidur, yang perlu mendapat perlakuan khusus. Perlakuan tersebut dapat berupa penambahan *wing walls* agar dapat terjadi perubahan tekanan (Moore, 1993), sehingga bukaan pada kamar dapat menjadi *inlet* untuk angin. *Wing walls* juga dapat memperbaiki penghawaan alami dengan meningkatkan pertukaran udara perjam (ACH) dan kecepatan rata-rata di dalam ruang (Mak dkk, 2007)
- Walaupun dalam penelitian ini telah dikatakan bahwa *Rumbak Tahansengan* tidak berperan signifikan dalam penghawaan alami, tetapi secara pencahayaan alami *Rumbak Tahansengan* dapat meningkatkan rasio pemerataan pencahayaan untuk aktivitas hingga 9.6% (Susanti, 2015). Oleh karena itu untuk penelitian-penelitian lanjutan, dapat dilakukan optimasi *Rumbak Tahansengan* dalam hal perannya mendukung penghawaan alami dan pencahayaan ruangan. Sebagai bukaan tradisional yang jarang ada di rumah adat lainnya, menarik jika dilakukan optimasi mengenai luas dan jarak bukaan pada penelitian selanjutnya.



*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Mahmoud Z.A., dan Baharum, M.R., (2015), A review on natural ventilation applications through building facade components and ventilation openings in tropical climates, *Energy and Buildings 101*, 153–162, Elsevier.
- Allard, Francis, (1998), *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook*, James & James Ltd, London.
- Aldawoud, Abdelsalam (2017), Windows design for maximum cross ventilation in buildings, *Advances in Building Energy Research*, 11:1, 67-86
- Asteria, (2008), Perkembangan Penataan Interior Rumah Betang Suku Dayak Ditinjau dari Sudut Budaya, “*Dimensi Interior*”, Vol 6. No. 2, 134-148, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Awbi, H. B., (1991), *Ventilation of Buildings*, E & FN Spon, London.
- Aynsley, R. & Spruill, M. (1990), Thermal Comfort Models for Outdoor Thermal Comfort in Warm Humid Climates and Probabilities of Low Wind Speeds, “*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36, 481-488, Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam.
- Aynsley, R.M., dkk (1977), *Architectural Aerodynamics*, Applied Science Publishers, London.
- Blocken, B., Hout, A., Dekker, J., dan Weillier, O., (2015), CFD Simulation of Wind Flow over Natural Complex Terrain: Case Study with Validation bu field Measurements for Ria de Ferrol, Galicia, Spain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 147, 43-57, Elsevier.
- Boutet, T.S. (1987), *Controlling Air Movement, Manual for Architect and Building*, McGraw-Hill, United State of America.
- Cahyani, Septi, (2014), *Pengaruh Posisi dan Orientasi Bukaannya untuk Efektivitas Penghawaan Alami Pada Ruang Kantor Bertingkat Menengah dengan Fasad Selubung Ganda*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Chu, Chia-Ren dan Chiang, Bo-Fan, (2014), Wind-driven cross ventilation in long buildings, *Building and Environment* 80, 150 – 158, Elsevier.
- Dede, P.J.A.D., Antaryama, I.G.N., dan Ekasiwi, S.N.N., (2016), Kinerja Termal Rumah Niang di Dataran Tinggi Tropis Lembab di Distrik Manggarai, *ATRIUM*, Vol. 2, No. 1, 43-54.
- Defiana, I. (2003) *Sistem Penghawaan Alam pada Fasad Hunian Multifungsi di Daerah Tropis Lembab*, Tesis Magister Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Defiana, I. (2012) *Piramida Night Ventilation: Teori Penyejukan Fisiologis untuk Rumah Sederhana Realestate di Tropis Lembab dengan Referensi Kota Surabaya* (unpublished). Disertasi Program Doktor Pascasarjana Arsitektur ITS predikat dengan pujian.
- Evans, Martin, (1980), *Housing, Climate and Comfort*, Architectural Press Limited, London.
- Fitriaty, P., Antaryama, I.G.N., dan Ekasiwi, S.N.N., (2011), Thermal Performance of Traditional House in the Upland Central Celebes of Indonesia, *IPTEK, The Journal for Technology and Science*, Vol. 22, No. 4.
- Franke, J., Hellsten, A., Schlunzen, K.H., dan Carissimo, B., (2007), *Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models*, Best Practice Guideline for The CFD Simulation of Flows in The Urban, COST, University of Hamburg, Hamburg.
- Groat, Linda & Wang, David (2002), *Architectural Research Methods*, John Wiley & Sons, INC, New York.
- Hurnik, M., Blaszcok, M., dan Popiolek, (2015), Air distribution measurement in a room with a sidewall jet: A 3D benchmark test for CFD validation, *Building and Environment* 93, 319 – 330, Elsevier.
- Kristianto, M.A., Utama, N.A., dan Fathoni, A.M., (2014), *Analyzing Indoor Environment of Minahasa Traditional House Using CFD*, Elsevier, *Procedia Environmental Sciences* 20 ( 2014 ) 172 – 179
- Latifah, N.L. (2015), *Fisika Bangunan 1*, Griya Kreasi, Jakarta.
- Lechner, N. (2007), *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architecture*, Second Edition, John Wiley & Sons, INC.

- Liddament, M. (1996), *A Guide to Energy Efficient Ventilation*. Oscar Faber plc, Coventry
- Mak, C.M., Niu, J.L., Lee, C.T., dan Chan, K.F., (2007), A Numerical Simulation of Wing Walls Using Computational Fluid Dynamics, *Energy and Buildings* 39, 995 – 1002, Elsevier.
- Mediastika, C.E (2002) “Desain Jendela Bangunan Domestik untuk Mencapai Cooling Ventilation”. *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 30, No.1, Juli 2002:77-84.
- Moore, Fuller, (1993), *Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Noman, F.G., Kamsah, N., and Kamar, H.M., (2016), Improvement of Thermal Comfort Inside a Mosque Building, *Jurnal Teknologi*, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Johor.
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B.R., dan Drogemuller, R., (2017), Effect of natural ventilation mode on thermal comfort and ventilation performance: Full-scale measurement, *Energy and Buildings* 156, 1 – 16, Elsevier
- Olgyay, V. (1973), *Design with Climate; Bioclimatic Approach to Architecture Regionalism*, Princeton University Press, New Jersey.
- Peren. (2014), *CFD Analysis of Cross-Ventilation of A Generic Isolated Building with Asymmetric Opening Positions: IMPACT of Roof Angle and Opening Location*. Civil Construction Engineering Department, Polytechnic School of the University of Sao Paulo. Brazil.
- Perkasa, P. (2010), Konservasi Bangunan Bersejarah di Desa Bahu Palawa, *Jurnal Perspektif Arsitektur*, Volume 5 Nomor 1 Juli 2010, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Sakar, J. dan Mandal, S. (2008), *CFD Modeling and Validation of Temperature Flow Distribution in Air-Conditioned Space*, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Paper 972, Purdue University, Purdue.
- Samodra, F.X.T.B (2017), Site Barrier Optimization on Integrating Thermal Comfort with Noise Propagation Control, *DIMENSI – Journal of Architecture and Built Environment*, Vol 44, No. 1, July 2017, 45-52

- Sankertadi (2013), *Kenyamanan Termis di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab*, Alfabeta, Bandung.
- Satwiko, P. (2009), *Fisika Bangunan*, Andi, Yogyakarta.
- Shetabivash, H. (2015), Investigation of opening position and shape on the natural cross ventilation. *Energy and Buildings* 93 (2015) 1–15
- SNI 03-6572-2001 Tata Cara Perancangan Sistem Penghawaan dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung.
- Susanti, E., Damayanti, D.P., Ekasiwi, S.N.N., dan Defiana, I., (2015) *The effect of opening on building envelope toward daylight performance in Betang House at Central Borneo*, 8th International Conference on Architecture Research and Design (AR+DC), ITS, Surabaya
- Suwantara, I.K., Damayanti, D.P., dan Iwan, S., (2012) “Karakteristik Termal pada Uma Lengge di Desa Mbawa Nusa Tenggara Barat”, *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, Vol. 39, No. 1, 5-14, Surabaya.
- Szokolay, Steven V. (2008), *Introduction to Architectural Science: The Basic of Sustainable Design*, Elsevier, New Delhi
- Tahir, M.M. (2010), *The Development of a Sustainably Responsive Ultra Low Energy Terrace Housing for The Tropics Incorporating The Raise Floor Inovation*, Recent Advances in Energy & Environment.
- Tjahjono, G. dkk (2002), *Indonesian Heritage*, Buku Antar Bangsa, Jakarta.
- Wahab, I.A. dan Ismail, L.H. (2014), Natural Ventilation Performance of Kedah Vernacular House, *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, Vol 5, Issue 2
- Internet <https://budparpulpis.wordpress.com/2015/04/15/rumah-tua-djaga-bahen/> diakses pada 3 September 2017
- Internet <http://www.contractingbusiness.com/service/use-air-changes-calculation-determine-room-cfm> diakses pada 7 September 2017

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### Data Iklim pertahun Kalimantan Tengah

Tahun	Suhu (C)	Kelembaban (%)	Angin (m/s)
2001	27.5	74	3.0
2002	27.9	73	3.4
2003	27.5	74	1.9
2004	27.3	-	-
2005	27.0	84	2.6
2006	27.5	82	2.2
2007	28.1	84	2.6
2008	27.9	84	2.4
2009	28.1	82	3.0
2010	29.3	84	1.3
2011	-	-	-
2012	27.9	84	3.0
2013	28.4	85	1.5
2014	27.5	823	2.1
2015	27.3	82	2.2

Sumber : bps.go.id

## LAMPIRAN B

Foto – Foto Hasil Pengamatan (Outdoor)









## LAMPIRAN C

### Foto – Foto Hasil Pengamatan (Indoor)





# LAMPIRAN D

Data pengukuran arah dan kecepatan angin outdoor

Jam	Angin Luar							
	12		13		14		15	
	avg	arah	avg	arah	avg	arah	avg	arah
1.00			0.28	-	0.23	-	0.16	-
2.00			0.28	-	0.11	-	0.07	-
3.00			0.15	-	0.28	-	0.08	-
4.00			0.13	-	0.19	-	0.13	-
5.00			0.13	-	0.31	-	0.13	-
6.00			0.09	-	0.05	-	0.17	-
7.00	0.20	TIMUR	0.13	-	0.08	-	0.15	-
8.00	0.15	TIMUR	0.57	TIMUR	0.44	-		
9.00	0.30	TIMUR	0.43	TIMUR	0.10	-		
10.00	0.16	TIMUR LAUT	0.39	TIMUR	0.11	TIMUR		
11.00	0.50	TIMUR LAUT	0.08	UTARA	0.15	TIMUR LAUT		
12.00	0.23	UTARA	0.54	UTARA	0.15	UTARA		
13.00	0.11	TIMUR	0.28	TIMUR	0.31	-		
14.00	0.27	TIMUR LAUT	0.23	BARAT LAUT	0.44	UTARA		
15.00	0.28	UTARA	0.13	TIMUR	0.12	TIMUR		
16.00	0.29	SELATAN	0.33	-	0.19	TIMUR LAUT		
17.00	0.05	-	0.03	-	0.11	-		
18.00	0.06	-	0.11	-	0.14	-		
19.00	0.26	BARAT LAUT	0.05	-	0.18	-		
20.00	0.33	TIMUR	0.11	-	0.09	-		
21.00	0.23	-	0.07	-	0.27	-		
22.00	0.44	-	0.28	-	0.14	-		
23.00	0.09	-	0.24	-	0.09	-		
24.00	0.21	-	0.12	-	0.07	-		

## LAMPIRAN E

Data pengukuran suhu dan kelembaban outdoor

Jam	Angin Luar							
	12		13		14		15	
	suhu (C)	RH (%)	suhu (C)	RH (%)	suhu (C)	RH (%)	suhu (C)	RH (%)
1.00			23.53	100.00	24.16	100.00	24.11	100.00
2.00			23.49	97.00	23.26	100.00	23.99	100.00
3.00			23.30	99.00	22.80	100.00	23.84	100.00
4.00			23.41	100.00	22.67	99.00	23.72	99.00
5.00			22.83	97.00	22.73	100.00	23.61	100.00
6.00			22.56	97.00	22.30	100.00	23.59	100.00
7.00	22.82	94.00	22.82	100.00	23.16	100.00	24.96	99.00
8.00	23.65	88.00	23.65	88.00	24.72	92.00		
9.00	25.82	88.00	25.82	79.00	28.02	82.00		
10.00	26.88	81.00	26.88	77.00	29.40	82.00		
11.00	27.80	80.00	27.80	73.00	29.01	64.00		
12.00	28.01	64.00	28.01	82.00	29.74	76.00		
13.00	29.36	72.00	29.85	74.00	29.36	71.00		
14.00	29.06	74.00	30.29	74.00	29.06	78.00		
15.00	28.15	71.00	29.48	79.00	28.15	76.00		
16.00	27.95	83.00	28.89	86.00	27.95	83.00		
17.00	26.90	87.00	28.84	88.00	26.90	87.00		
18.00	26.54	98.00	26.62	100.00	26.54	91.00		
19.00	25.68	85.00	25.56	98.00	25.68	95.00		
20.00	27.20	95.00	25.56	94.00	25.19	95.00		
21.00	26.13	92.00	25.05	100.00	24.46	100.00		
22.00	25.81	100.00	24.77	96.00	24.32	100.00		
23.00	25.67	99.00	24.32	100.00	24.57	99.00		
24.00	25.20	100.00	24.10	100.00	24.40	98.00		



## LAMPIRAN F

Perhitungan vc pengukuran lapangan

$$V_c = 0,15 (DBT - UCT + (0,8 * ((RH - 60)/10)) + (0,55 * (MRT - 38)/2,8))$$

Jam	Vc siang hari					
	Tglobe	v	MRT	DBT	RH (%)	VC
7.00	26.20	0.32	26.60	25.90	97.00	-0.51
8.00	28.20	0.08	28.73	27.40	89.00	-0.32
9.00	29.50	0.11	29.97	28.90	89.00	-0.05
10.00	31.50	0.28	33.86	29.60	80.00	0.06
11.00	31.50	0.22	32.05	31.00	80.00	0.21
12.00	34.50	0.39	37.44	32.50	65.00	0.42
13.00	33.50	0.08	33.97	32.80	75.00	0.48
14.00	34.00	0.10	34.82	32.90	69.00	0.45
15.00	33.20	0.27	33.57	32.90	69.00	0.41
16.00	31.00	0.05	31.42	30.20	81.00	0.09
17.00	31.00	0.04	31.09	30.80	84.00	0.20
6.00	23.80	0.07	23.80	23.80	98.00	-0.89
7.00	24.40	0.08	24.93	23.60	98.00	-0.89
8.00	26.10	0.10	26.47	25.60	94.00	-0.59
9.00	28.00	0.14	29.49	26.30	88.00	-0.47
10.00	28.80	0.19	30.23	27.40	80.00	-0.38
11.00	28.10	0.05	28.36	27.60	87.00	-0.32
12.00	29.80	0.09	30.58	28.70	82.00	-0.15
13.00	29.90	0.33	30.84	29.20	83.00	-0.05
14.00	30.50	0.09	30.99	29.80	78.00	-0.02
15.00	30.30	0.59	31.20	29.80	79.00	0.00
16.00	29.20	0.11	29.43	28.90	81.00	-0.17
17.00	28.90	0.04	28.90	28.90	85.00	-0.13
6.00	23.10	0.07	23.16	23.00	100.00	-1.01
7.00	25.00	0.03	25.49	23.80	99.00	-0.83
8.00	26.10	0.50	27.60	25.20	97.00	-0.58
9.00	28.90	0.12	29.96	27.60	83.00	-0.32
10.00	28.70	0.12	29.19	28.10	86.00	-0.23
11.00	30.70	0.15	31.97	29.30	72.00	-0.14
12.00	29.70	0.10	30.15	29.10	80.00	-0.13
13.00	30.20	0.06	30.66	29.40	77.00	-0.10
14.00	29.70	0.22	30.25	29.20	83.00	-0.07
15.00	29.40	0.12	29.81	28.90	79.00	-0.18
16.00	28.90	0.07	29.09	28.60	83.00	-0.20
17.00	27.90	0.06	28.19	27.40	88.00	-0.34

Jam	Vc malam hari					
	Tglobe	v	MRT	DBT	RH (%)	VC
18.00	28.10	0.13	29.54	26.40	100.00	-0.31
19.00	27.10	0.13	27.10	27.10	90.00	-0.40
20.00	26.90	0.06	26.84	27.00	92.00	-0.39
21.00	25.50	0.11	25.81	25.10	100.00	-0.61
22.00	24.50	0.07	24.50	24.50	99.00	-0.75
23.00	24.70	0.04	24.84	24.40	100.00	-0.75
24.00	25.30	0.16	25.58	25.00	99.00	-0.65
1.00	23.90	0.13	23.90	23.90	100.00	-0.85
2.00	24.00	0.20	24.00	24.00	100.00	-0.83
3.00	23.60	0.29	24.11	23.20	100.00	-0.95
4.00	23.40	0.13	23.40	23.40	99.00	-0.95
5.00	23.00	0.11	23.23	22.70	100.00	-1.05
18.00	27.50	0.08	27.63	27.30	86.00	-0.40
19.00	26.40	0.04	26.59	26.00	94.00	-0.53
20.00	26.20	0.07	26.57	25.60	95.00	-0.58
21.00	25.30	0.09	25.65	24.80	100.00	-0.66
22.00	25.40	0.04	25.54	25.10	99.00	-0.63
23.00	25.60	0.11	25.91	25.20	98.00	-0.62
24.00	25.30	0.06	25.36	25.20	96.00	-0.66
1.00	24.90	0.12	25.23	24.50	100.00	-0.72
2.00	24.90	0.09	24.97	24.80	98.00	-0.71
3.00	24.20	0.09	24.98	23.10	100.00	-0.94
4.00	23.40	0.09	23.33	23.50	99.00	-0.94
5.00	24.70	0.13	24.53	24.90	99.00	-0.69
18.00	29.40	0.04	29.73	28.70	96.00	-0.01
19.00	29.50	0.12	29.66	29.30	90.00	0.01
20.00	27.60	0.17	28.18	27.00	93.00	-0.34
21.00	27.60	0.05	27.65	27.50	91.00	-0.31
22.00	27.00	0.03	27.04	26.90	97.00	-0.34
23.00	27.10	0.05	27.15	27.00	96.00	-0.34
24.00	25.60	0.43	26.52	25.00	100.00	-0.61
1.00	25.50	0.26	25.62	25.40	96.00	-0.62
2.00	25.00	0.04	25.09	24.80	98.00	-0.70
3.00	24.80	0.35	25.08	24.60	98.00	-0.73
4.00	23.90	0.04	23.99	23.70	100.00	-0.88
5.00	23.80	0.04	23.80	23.80	98.00	-0.89

## LAMPIRAN G

### Hasil perhitungan ACH

Ruang	Jam	Kec. Angin	A1 (Outlet)	A2 (Inlet)	Volume	Ae	ACH	Min. Req
Ruang tamu	6.00	0.04	6.29	10.31	148.80	5.37	5.53	6
	9.00	0.14					17.99	6
	12.00	0.13					16.70	6
	15.00	0.10					12.80	6
Ruang los	6.00	0.05	1.32	1.32	103.08	0.93	1.49	6
	9.00	0.09					3.00	6
	12.00	0.09					2.81	6
	15.00	0.07					2.30	6
Dapur	6.00	0.12	1.79	2.88	45.64	1.52	13.76	7
	9.00	0.16					19.48	7
	12.00	0.13					15.76	7
	15.00	0.08					10.04	7

## LAMPIRAN H

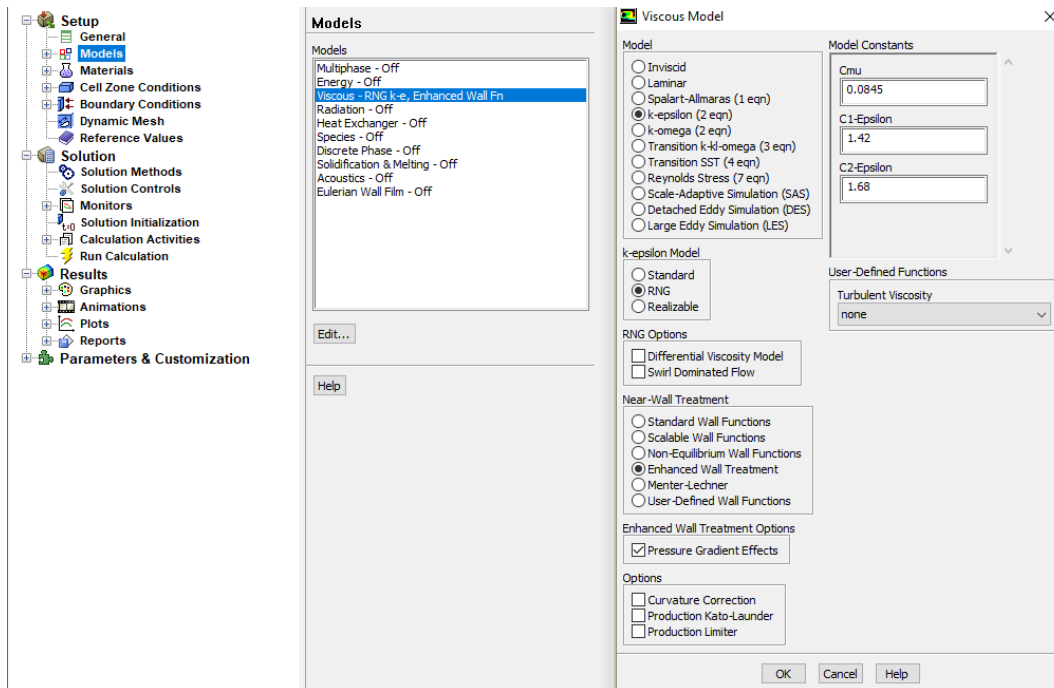
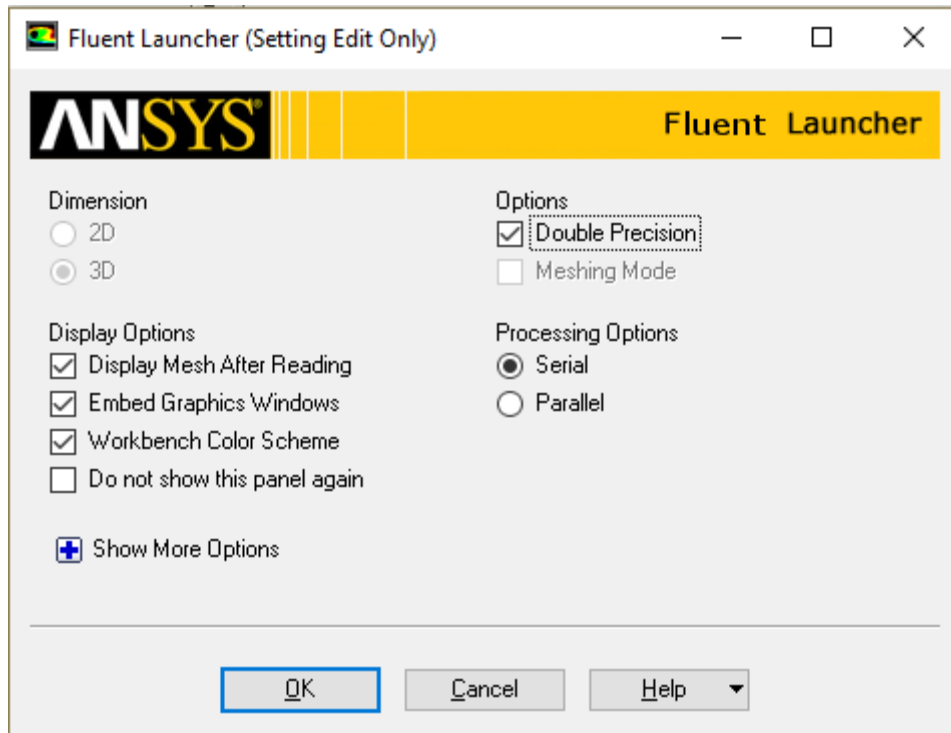
### Setting Mesh

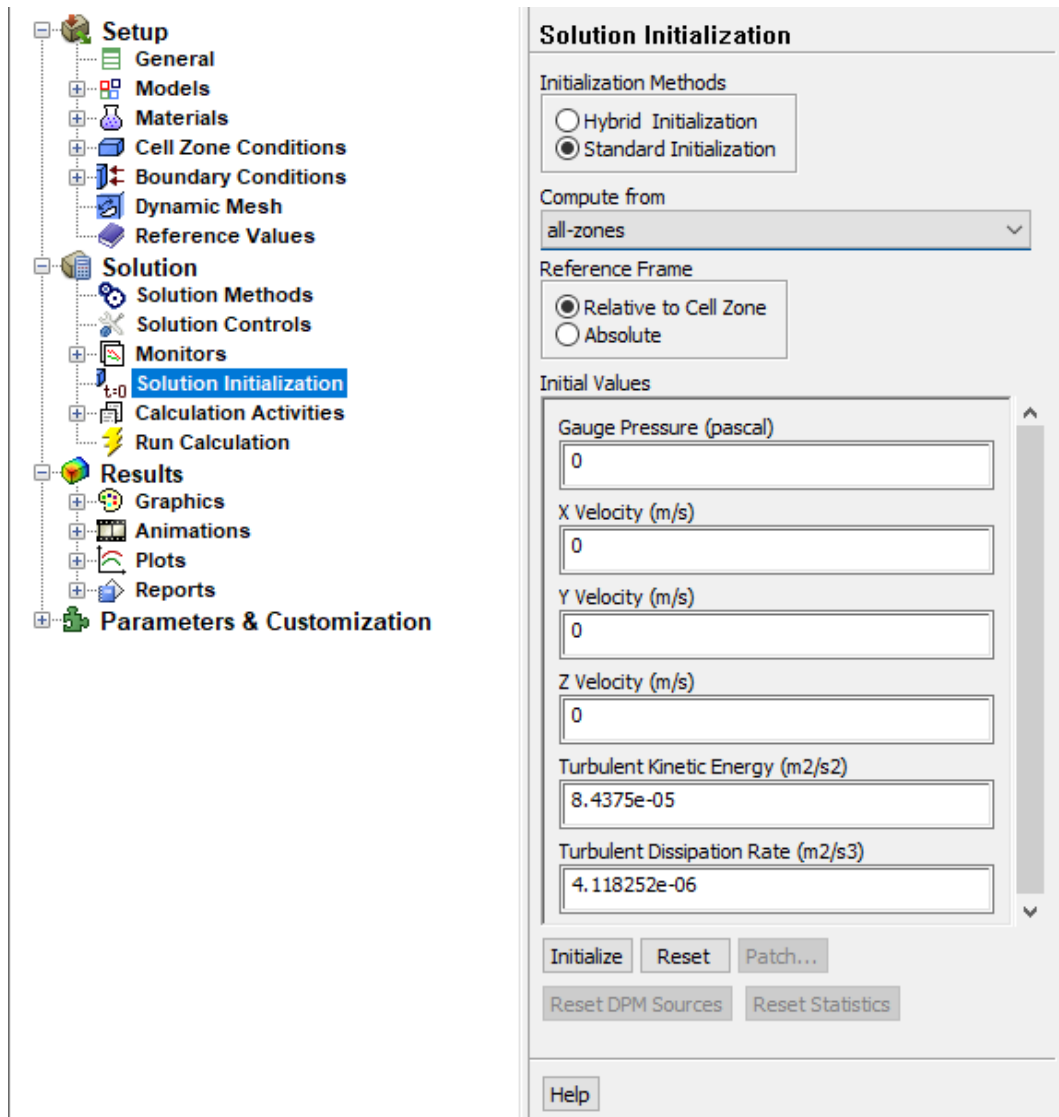
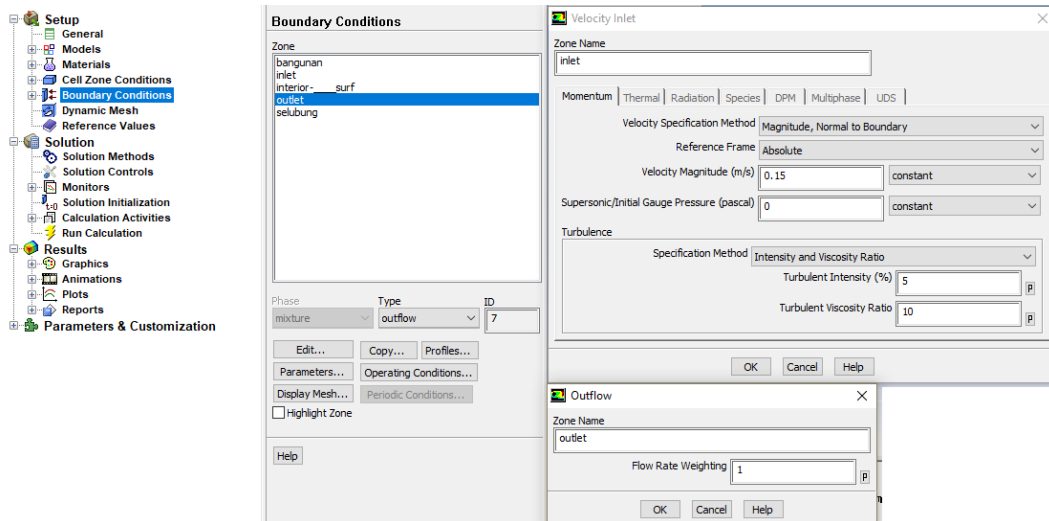
Details of "Mesh"	
<b>+ Display</b>	
<b>- Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
<b>- Sizing</b>	
<b>Use Advanced Size Function</b>	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
Smoothing	High
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (4,2804e-003 m)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (4,2804e-003 m)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (0,547890 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20 )
Minimum Edge Length	3,9865e-004 m
<b>- Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
View Advanced Options	No
<b>- Assembly Meshing</b>	
Method	Tetrahedrons
Feature Capture	Program Controlled
Tessellation Refinement	Program Controlled
Intersection Feature Creation	Program Controlled
<b>+ Advanced</b>	
<b>+ Statistics</b>	

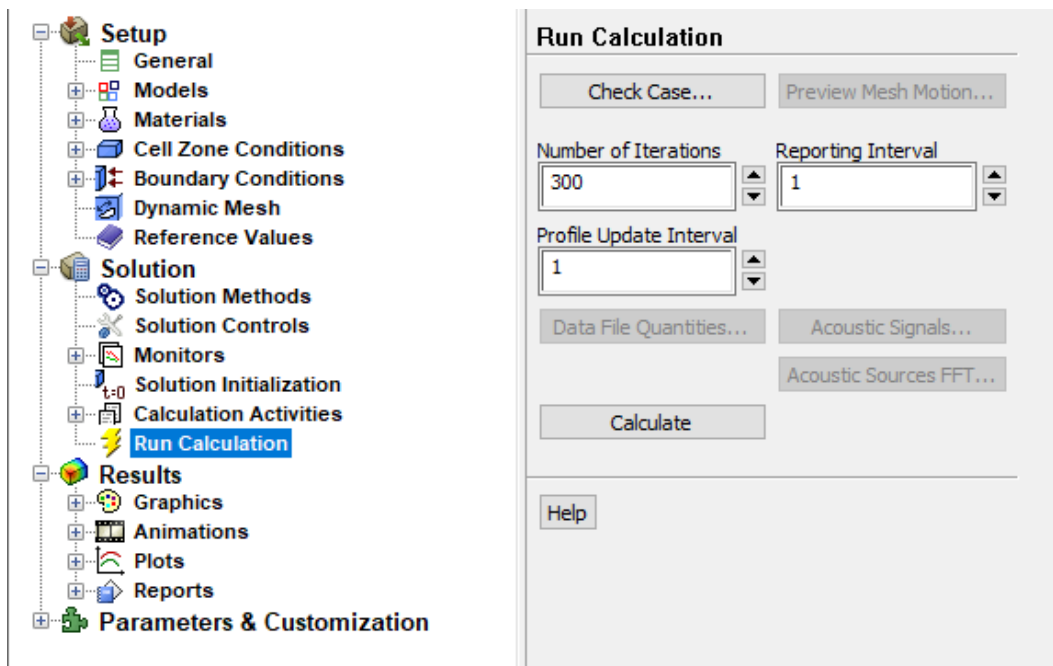


## LAMPIRAN I

### Setting Solver







#### Domain Extents:

x-coordinate: min (m) =  $-1.197102 \times 10^1$ , max (m) =  $4.701540 \times 10^0$

y-coordinate: min (m) =  $-4.162425 \times 10^0$ , max (m) =  $4.313555 \times 10^0$

z-coordinate: min (m) =  $-4.826000 \times 10^{-2}$ , max (m) =  $1.475740 \times 10^0$

#### Volume statistics:

minimum volume (m3):  $1.050796 \times 10^{-9}$

maximum volume (m3):  $1.525920 \times 10^{-1}$

total volume (m3):  $2.153601 \times 10^2$

#### Face area statistics:

minimum face area (m2):  $1.029414 \times 10^{-6}$

maximum face area (m2):  $2.874775 \times 10^{-1}$

Checking mesh.....  
Done.

#### Mesh Quality:

Minimum Orthogonal Quality =  $1.15349 \times 10^{-2}$

(Orthogonal Quality ranges from 0 to 1, where values close to 0 correspond to low quality.)

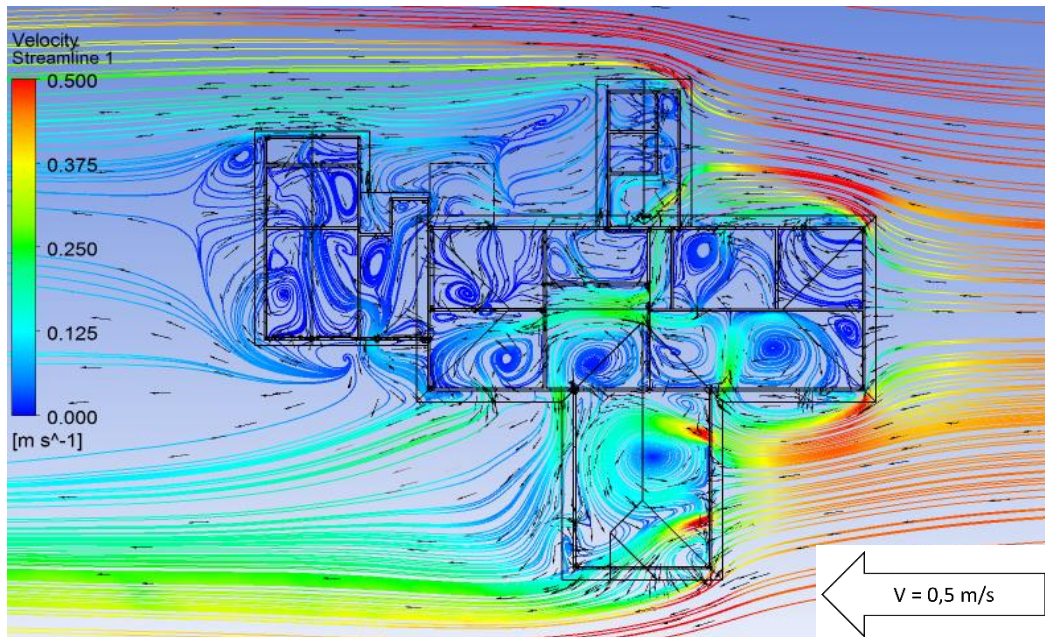
Maximum Ortho Skew =  $8.52906 \times 10^{-1}$

(Ortho Skew ranges from 0 to 1, where values close to 1 correspond to low quality.)

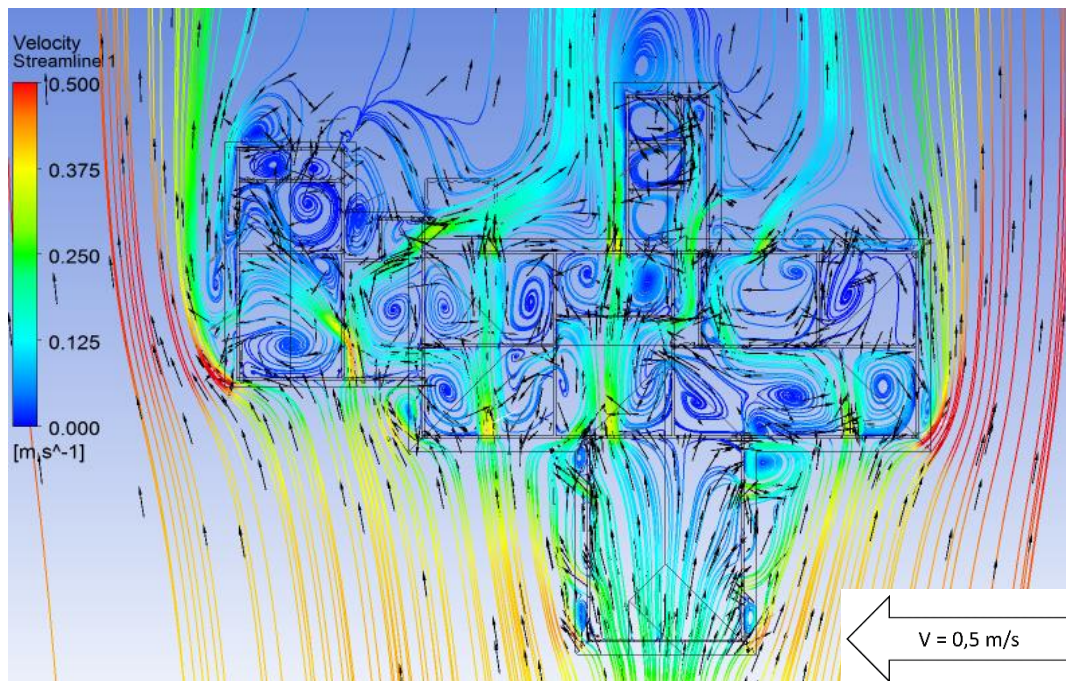
Maximum Aspect Ratio =  $2.30119 \times 10^1$

## LAMPIRAN J

### Verifikasi Simulasi Arah Utara



### Verifikasi Simulasi Arah Timur

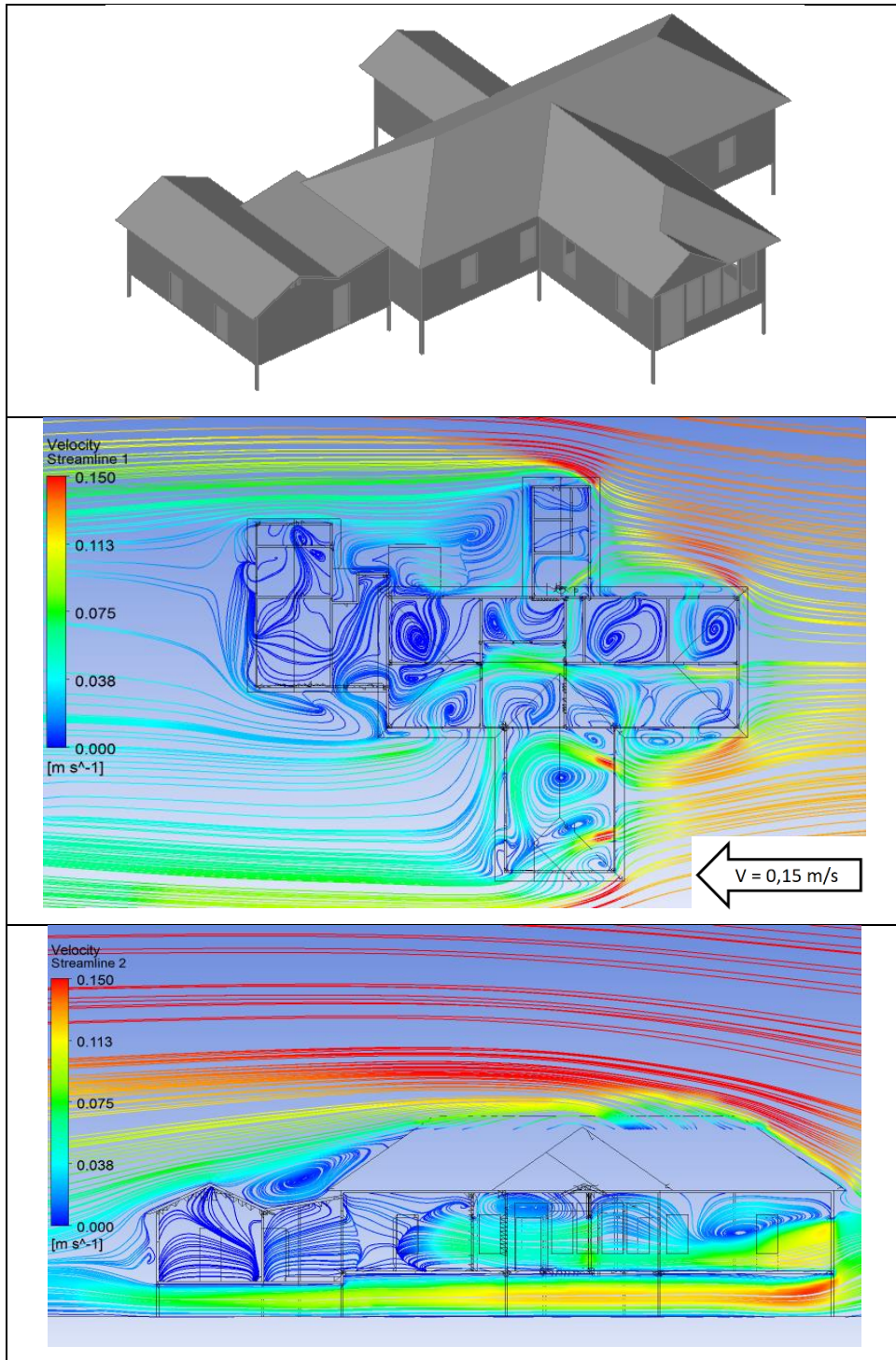




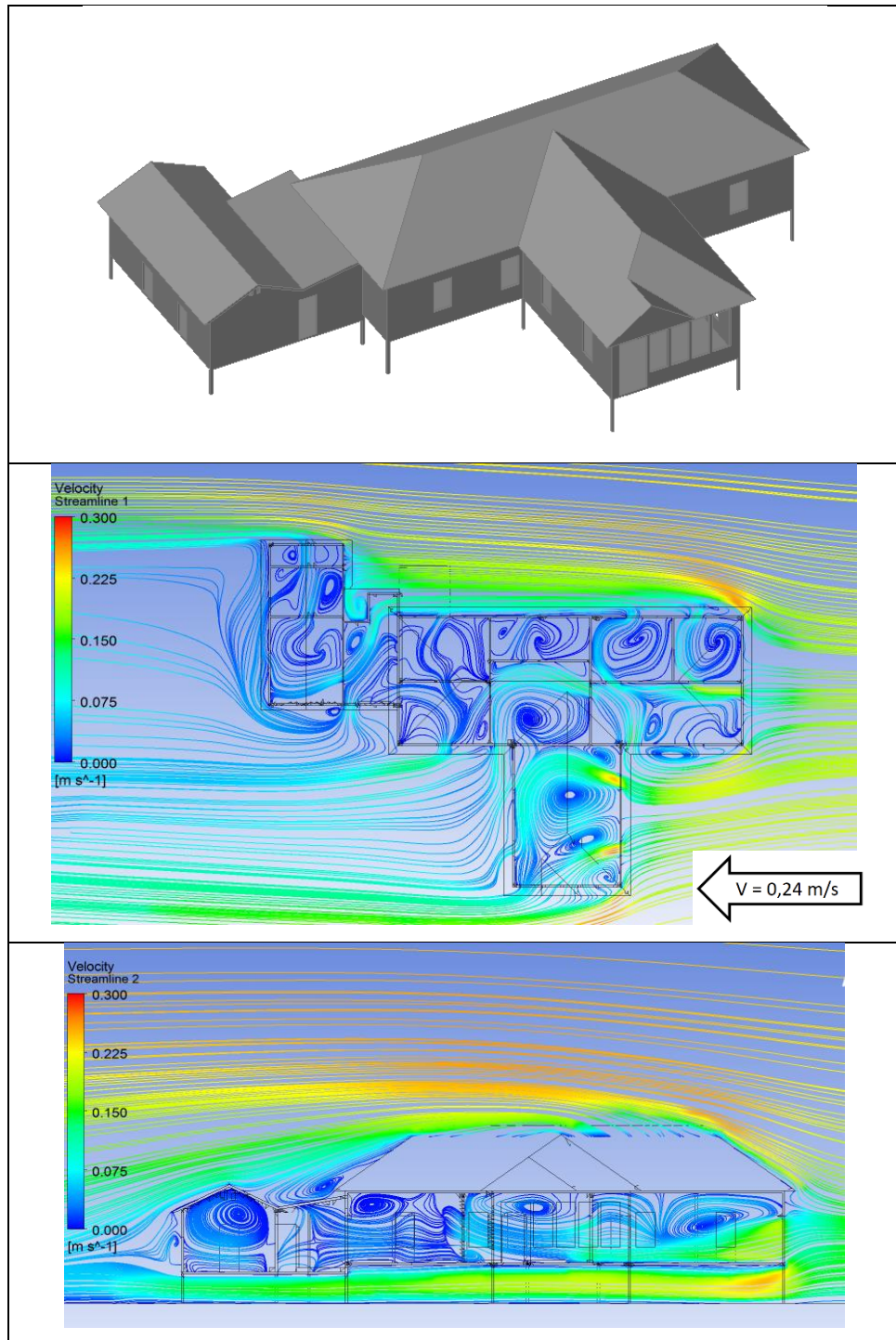
## LAMPIRAN K

### Model dan Hasil simulasi

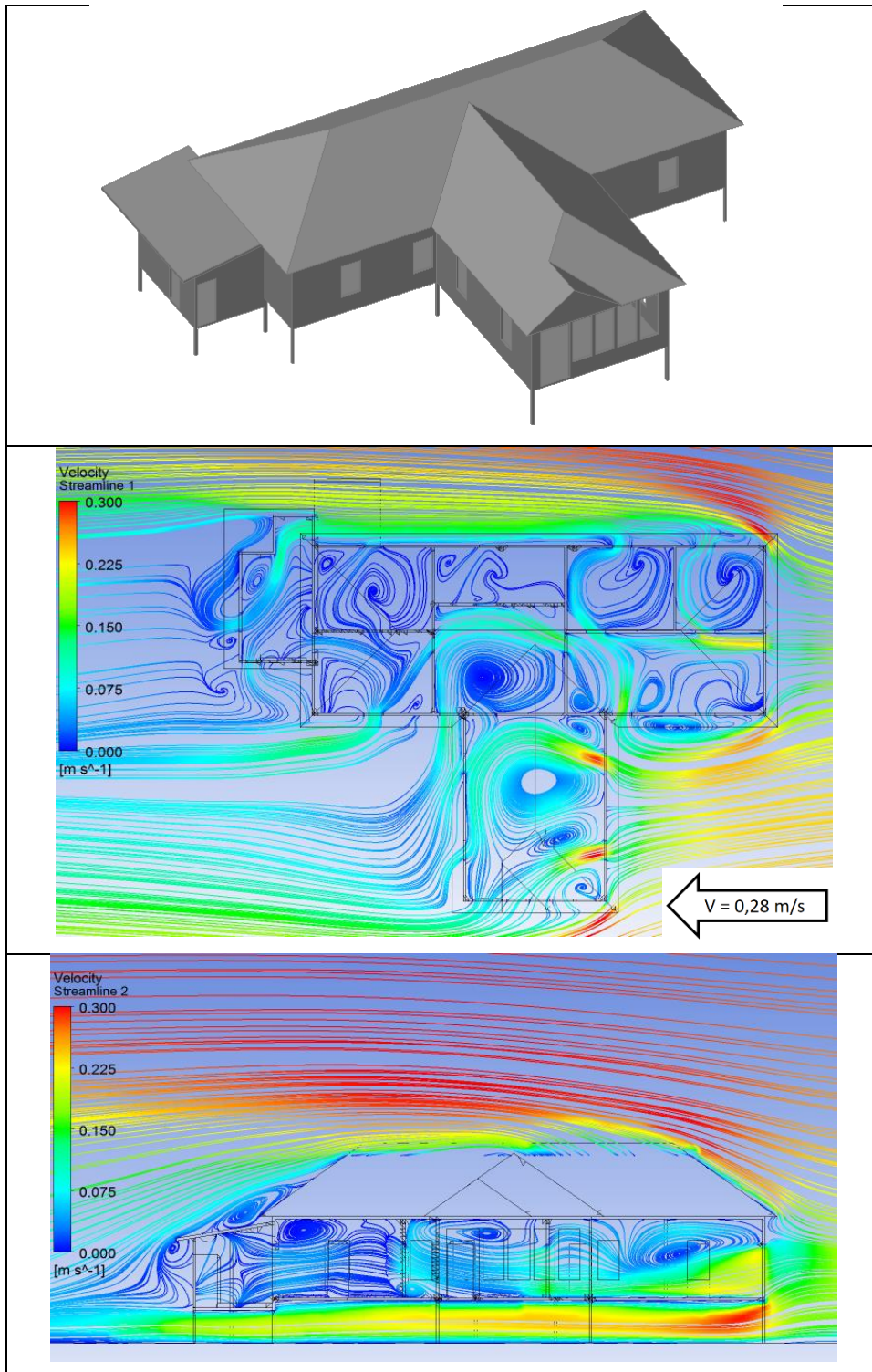
- a. 2014 (Bangunan eksisting dalam keadaan bukaan terbuka semua)



b. 1991

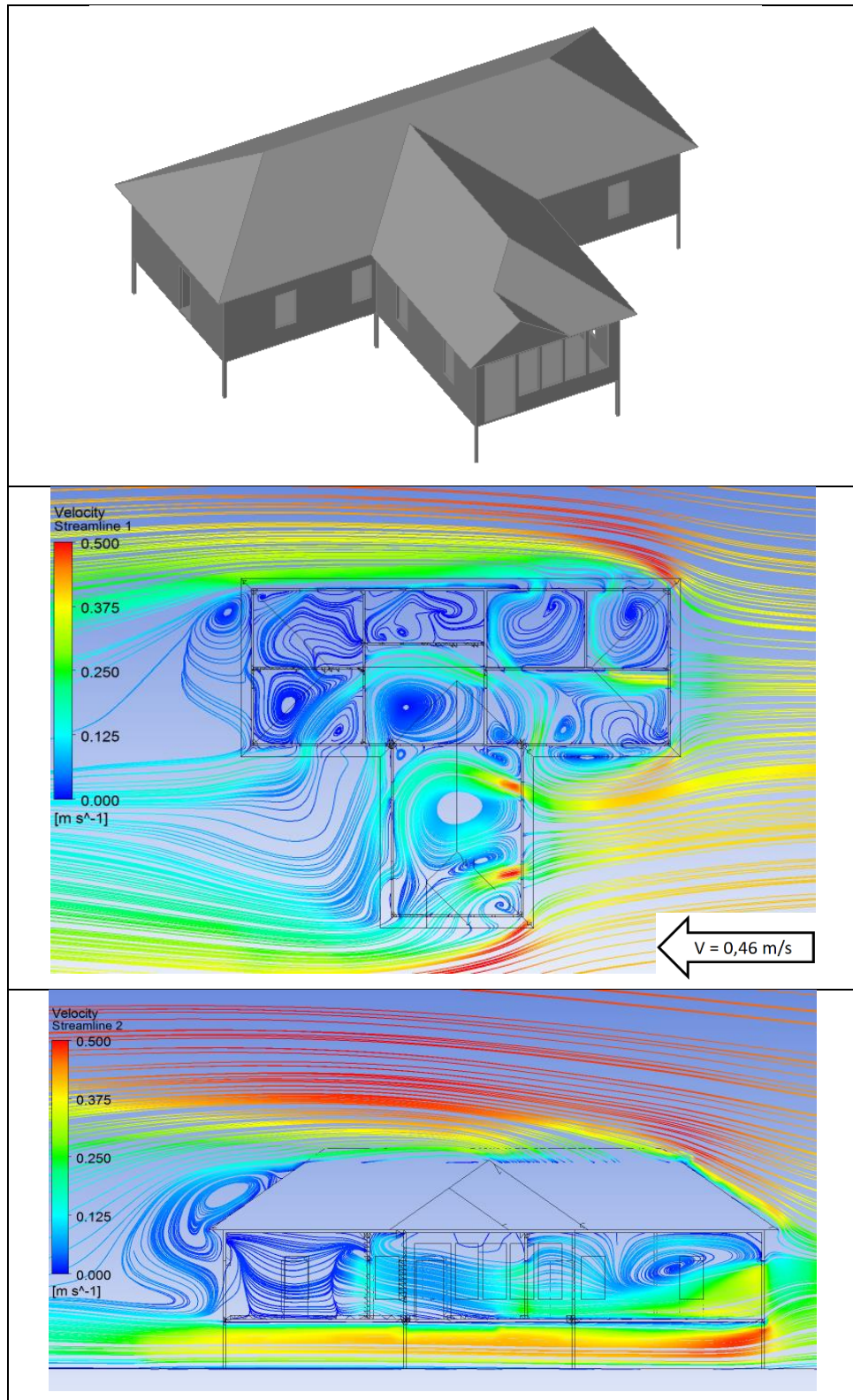


c. 1983



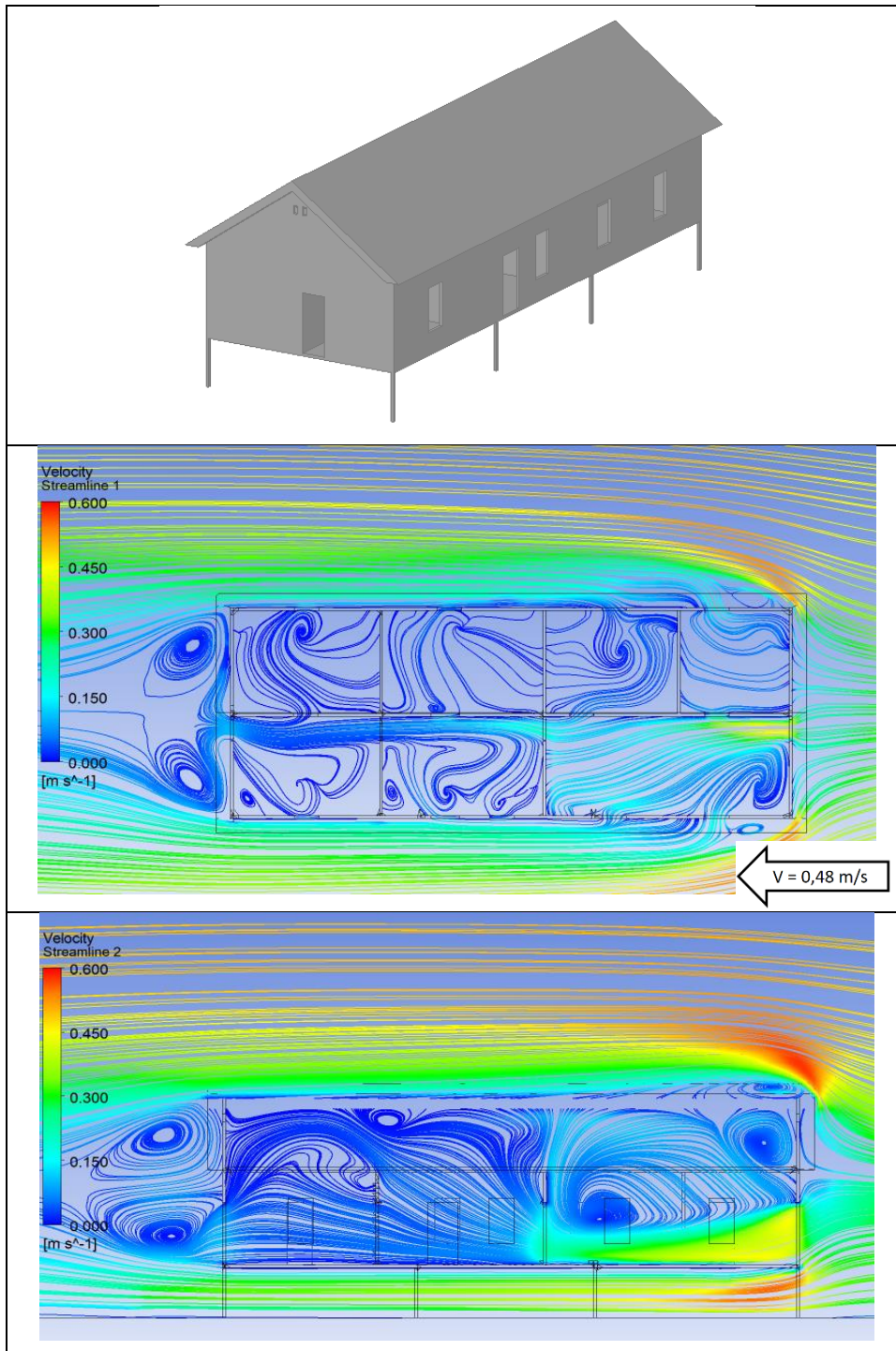


d. 1938

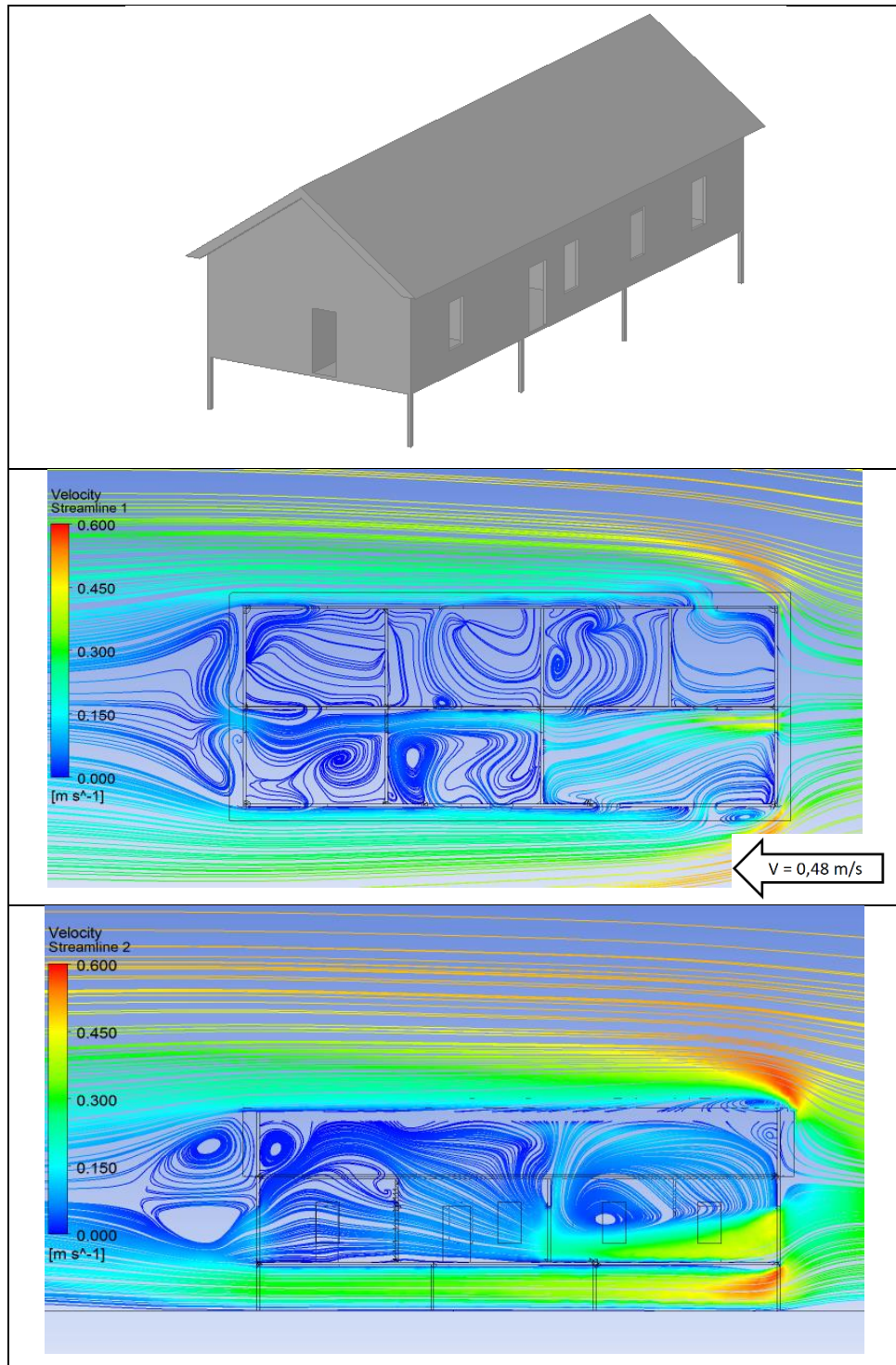




e. 1933 (dengan Rumbak Tahansengan)

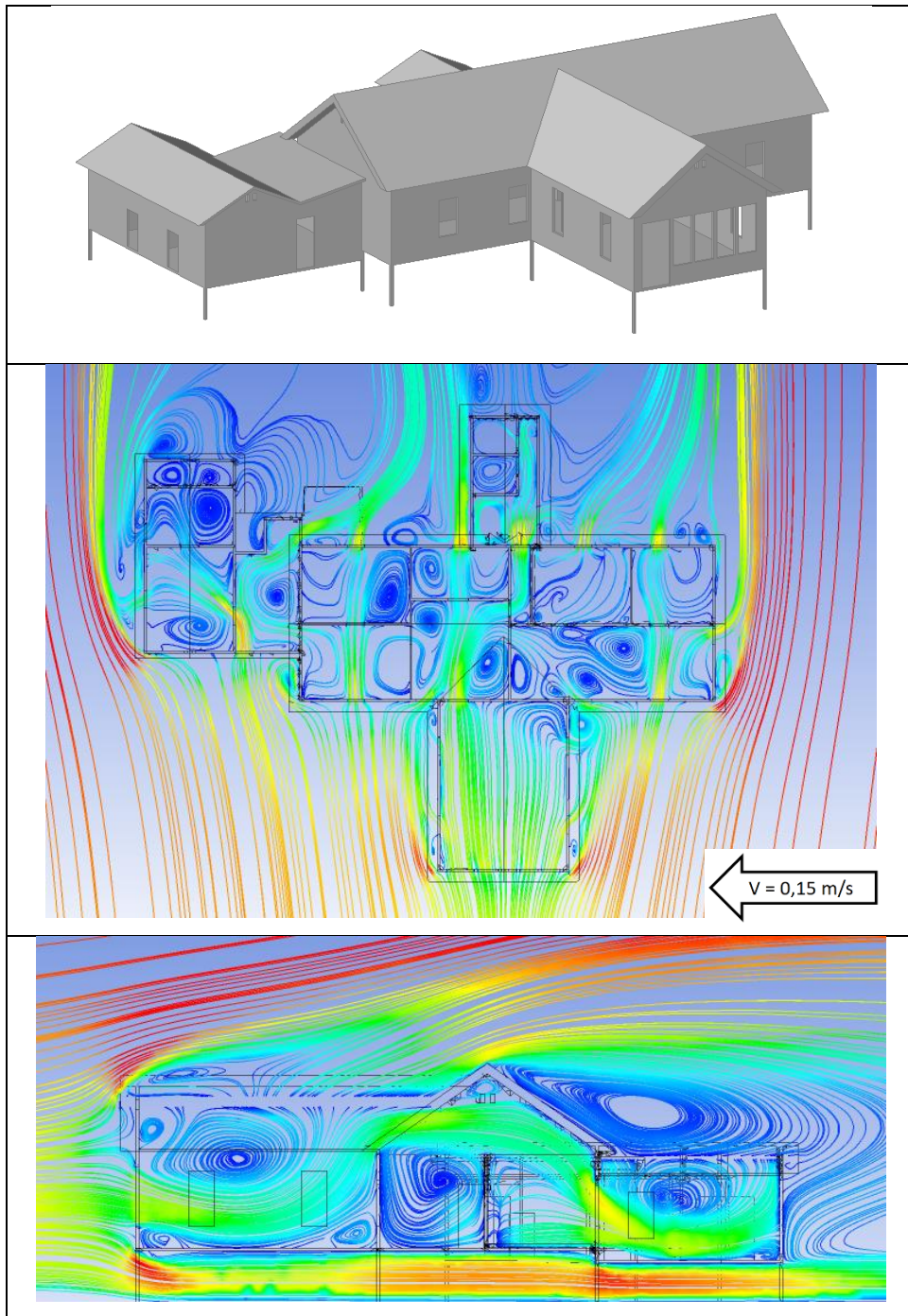


f. 1933 (tampak Rumbak Tahansengan)





a. 2014 (Bangunan eksisting dengan Rumbak Tahansengan)



## LAMPIRAN L

### Perhitungan ACH hasil simulasi

	ACH ADAPTASI							
Ruang	Tahun	Kec. Angin	A1 (Outlet)	A2 (Inlet)	Volume	Ae	ACH	Min. Req
Ruang tamu	2014	0.09	13.46	3.15	148.80	3.06	6.67	6
	1991	0.12					8.89	6
	1983	0.13					9.63	6
	1938	0.20					14.82	6
	1933							6
								6
Ruang los	2014	0.06	6.67	3.10	103.08	2.81	5.90	6
	1991	0.08					7.86	6
	1983	0.10					9.83	6
	1938	0.15					14.74	6
	1933	0.20	14.29	49.38	309.23	13.72	31.95	6
								6
Ruang Los 2	2014	0.06	6.67	1.79	64.17	1.72	5.80	6
	1991	0.08					7.74	6
	1983	0.09					8.71	6
	1938	0.12					11.61	6
	1933							6
								6
Ruang Keluarga	2014	0.03	4.89	1.79	54.25	1.68	3.34	5
	1991	0.05					5.56	5
	1983	0.07					7.79	5
	1938	0.11					12.24	5
	1933		15.69	7.60	76.75	6.84	0.00	5
								5
Ruang Tidur Tamu	2014	0.03	1.32	1.79	42.41	1.06	2.70	5
	1991	0.05					4.50	5
	1983	0.06					5.40	5
	1938	0.11					9.90	5
	1933	0.10	5.82	11.38	59.51	5.18	31.33	5
								5
Ruang Tidur Tamu 2	2014	0.02	1.32	1.79	51.34	1.06	1.49	5
	1991	0.05					3.72	5
	1983	0.07					5.20	5
	1938	0.12					8.92	5
	1933	0.03	6.29	19.57	76.09	5.98	8.49	5
								5
Ruang Tidur Anak	2014	0.02	1.79	1.32	33.48	1.06	2.28	5
	1991	0.03					3.42	5
	1983	0.03					3.42	5
	1938	0.03					3.42	5
	1933	0.03	6.29	17.07	53.73	5.90	11.85	5
								5
Ruang Tidur Utama	2014	0.02	1.79	1.32	54.25	1.06	1.41	5
	1991	0.02					1.41	5
	1983	0.02					1.41	5
	1938	0.05					3.52	5
	1933	0.02	1.88	18.32	76.75	1.87	1.75	5
								6
Dapur	2014	0.03	3.57	4.67	45.64	2.84	6.71	7
	1991	0.08					17.89	7
	1983	0.11					24.60	7
	1938							
	1933							

	ACH DESAIN								
Ruang	Tahun	Kec. Angin	A1 (Outlet)	A2 (Inlet)	Volume	Ae	ACH	Min. Req	
Ruang tamu	2014	0.09	13.46	3.15	148.80	3.06	6.67	6	
	1991	0.09					6.67	6	
	1983	0.09					6.67	6	
	1938	0.09					6.67	6	
	1933					6			
								6	
Ruang los	2014	0.07	6.67	3.10	103.08	2.81	6.88	6	
	1991	0.07					6.88	6	
	1983	0.07					6.88	6	
	1938	0.07					6.88	6	
	1933	0.05	14.29	49.38	309.23	13.72	7.99	6	
								6	
Ruang Los 2	2014	0.06	6.67	1.79	64.17	1.72	5.80	6	
	1991	0.06					5.80	6	
	1983	0.06					5.80	6	
	1938	0.06					5.80	6	
	1933						6		
								6	
Ruang Keluarga	2014	0.03	4.89	1.79	54.25	1.68	3.34	5	
	1991	0.03					3.34	5	
	1983	0.03					3.34	5	
	1938	0.03					3.34	5	
	1933						5		
								5	
Ruang Tidur Tamu	2014	0.03	1.32	1.79	42.41	1.06	2.70	5	
	1991	0.03					2.70	5	
	1983	0.03					2.70	5	
	1938	0.03					2.70	5	
	1933	0.02	5.82	11.38	59.51	5.18	6.27	5	
								5	
Ruang Tidur Tamu 2	2014	0.02	1.32	1.79	51.34	1.06	1.49	5	
	1991	0.02	1.79	1.32		1.06	1.49	5	
	1983	0.02					1.49	5	
	1938	0.02					1.49	5	
	1933	0.01	6.29	19.57	76.09	5.98	2.83	5	
								5	
Ruang Tidur Anak	2014	0.02	1.79	1.32	33.48	1.06	2.28	5	
	1991	0.01					1.14	5	
	1983	0.01					1.14	5	
	1938	0.01					1.14	5	
	1933	0.01	6.29	17.07	53.73	5.90	3.95	5	
								5	
Ruang Tidur Utama	2014	0.02	1.79	1.32	54.25	1.06	1.41	5	
	1991	0.01					0.70	5	
	1983	0.01					0.70	5	
	1938	0.01					0.70	5	
	1933	0.01	1.88	18.32	76.75	1.87	0.87	5	
								6	
Dapur	2014	0.03	3.57	4.67	45.64	2.84	6.71	7	
	1991	0.04					8.95	7	
	1983	0.04					8.95	7	
	1938								
	1933								

ACH Aplikasi Rumbak Tahansengan								
Ruang	Tahun	Kec. Angin	A1 (Outlet)	A2 (Inlet)	Volume	Ae	ACH	Min. Req
Ruang tamu	A	0.09	13.46	3.15	148.80	3.06	6.67	6
	G	0.08	13.46	10.65	207.55	8.35	11.58	6
								6
Ruang los	A	0.07	6.67	3.10	103.08	2.81	6.88	6
	G	0.06	22.92	16.32	138.70	13.29	20.70	6
								6
Ruang Los 2	A	0.06	6.67	1.79	64.17	1.72	5.80	6
	G	0.05	11.17	17.54	84.42	9.42	20.09	6
								6
Ruang Keluarga	A	0.03	4.89	1.79	54.25	1.68	3.34	6
	G	0.02	4.98	18.79	73.00	4.81	4.75	6
								6
Ruang Tidur Tamu	A	0.03	1.32	1.79	42.41	1.06	2.70	5
	G	0.02	14.44	5.63	56.47	5.24	6.68	5
								5
Ruang Tidur Tamu 2	A	0.02	1.32	1.79	51.34	1.06	1.49	5
	G	0.03	21.32	1.79	68.21	1.78	2.82	5
								5
Ruang Tidur Anak	A	0.02	1.79	1.32	33.48	1.06	2.28	5
	G	0.01	16.04	4.32	46.98	4.17	3.19	5
								5
Ruang Tidur Utama	A	0.02	1.79	1.32	54.25	1.06	1.41	5
	G	0.01	14.38	5.07	73.00	4.78	2.36	5
								5

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## **BIODATA**

Penulis bernama lengkap Antonius Ario Bimantoro, ST., lahir pada tanggal 3 Desember 1991. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Santa Maria-Santo Yusuf Bandung (sekarang bernama SD Santa Ursula), SMP dan SMA Santo Aloysius 1 Bandung, dan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, jurusan Arsitektur. Penulis melanjutkan studinya di Program Pascasarjana bidang keahlian Arsitektur Lingkungan, jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014.

Penulis mengambil Tesis dengan judul “Pengaruh Perubahan Konfigurasi Ruang dan Bukaannya Terhadap Penghawaan Alami Rumah Betang Djaga Bahen”. Tesis ini merupakan kerjasama penelitian antara Laboratorium Sains Arsitektur dan Teknologi ITS dengan Balai Penelitian dan Pengembangan Perumahan Wilayah II Denpasar. Untuk pengembangan kemajuan ilmu dan diskusi lebih lanjut terkait desain penghawaan alami di pada rumah tradisional, penulis dengan senang hati menerima kritikan, saran dan diskusi terkait tesis ini. Penulis dapat dihubungi ke alamat email [ario.antonius@gmail.com](mailto:ario.antonius@gmail.com).